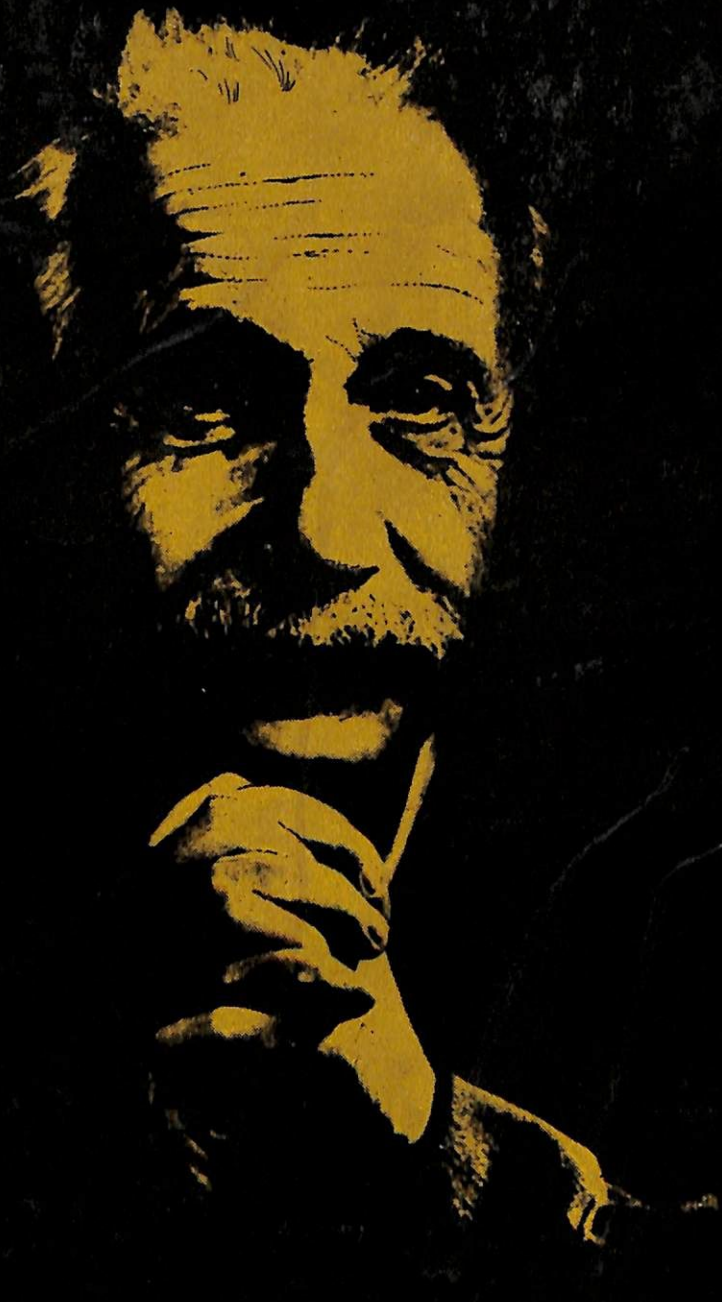
অ্যালবার্ট আইনস্টাইন

অপেক্ষবাদ বিশিষ্ট এবং ব্যাপকতত্ত্ব



[illegible]

[illegible]

অপেক্ষবাদ

বিশিষ্ট এবং ব্যাপকতত্ত্ব

অ্যালবার্ট আইনস্টাইন

ভাষান্তর :

শক্রজিৎ দাশগুপ্ত

[আর. ডব্লু. লসনের আঁইনস্টাইন অনুমোদিত ইংরাজী অনুবাদের ভাষান্তর । বঙ্গভাষায় এ সংস্করণটি প্রকাশিত হয়েছে গ্রন্থসত্ত্বাধিকারী জেরুজালেমে অবস্থিত হিব্রু বিশ্ববিদ্যালয়ের অনুমোদন এবং অনুমতিক্রমে ।]

বাউলমন প্রকাশন

২৮, বালিগঞ্জ গার্ডেন্স

কলিকাতা : ৭০০ ০১৯

প্রকাশক :
দেবব্রত ভট্টাচার্য
বাউলমন প্রকাশন
২৮, বালিগঞ্জ গার্ডেন্স
কলিকাতা : ৭০০০১৯

প্রথম প্রকাশ :
১লা জ্যৈষ্ঠ, ১৩৯৩

প্রচ্ছদ :
অরুণ রায় চৌধুরী

মুদ্রক :
সুবীর পোদ্দার
পিপলস লিট্‌ল প্রেস
৪, হিদারাম ব্যানার্জী লেন
কলিকাতা : ৭০০০১২

মূল্য : সাতাশ টাকা

ভূমিকা

বর্তমান গ্রন্থের উদ্দেশ্য অপেক্ষবাদ সম্পর্কে যতটা সম্ভব অন্তর্দৃষ্টি দান করা। এ বইটি সেই সমস্ত পাঠকদের জন্য, যাঁদের সাধারণ বৈজ্ঞানিক ও দার্শনিক দৃষ্টিকোণ থেকে এই তত্ত্বে আকর্ষণ রয়েছে কিন্তু যাঁদের তাত্ত্বিক পদার্থবিদ্যার গাণিতিক সাধনীর (tool) সঙ্গে পরিচয় নেই। এ বই বিশ্ববিদ্যালয়ের ম্যাট্রিক পরীক্ষার অনুরূপ শিক্ষার মান ধরে নিয়েছে এবং বইটা ছোট হওয়া সত্ত্বেও ধরে নিয়েছে পাঠকের বহুল পরিমাণ ধৈর্য এবং ইচ্ছাশক্তি রয়েছে। লেখক প্রধান ধারণাগুলি সব চাইতে সরল এবং বোধগম্যরূপে উপস্থিত করা এবং যেভাবে কার্যত তাদের উৎপত্তি সেই ক্রম এবং সংযোগ রক্ষা করার প্রচেষ্টায় কষ্ট স্বীকার করতে কোন কার্পণ্য করেনি। স্পষ্টতার স্বার্থে আমার মনে হয়েছে উপস্থাপনের সৌষ্ঠবে বিন্দুমাত্র দৃষ্টি না দিয়ে বারংবার পুনরাবৃত্তি করা অপরিহার্য। প্রতিভাবান তাত্ত্বিক পদার্থবিদ এল. বোল্‌জ্‌ম্যানের (L. Boltzmann) উপদেশ আমি সতর্কভাবে অনুসরণ করেছি। তিনি বলেছেন সৌষ্ঠবের ব্যাপারটা দর্জি আর জুতো সেলাইয়ের মুচিদের উপর ছেড়ে দেওয়া উচিত। বিষয়ের সঙ্গে সহজাত কাঠিন্য পাঠকের কাছ থেকে আড়াল করেছি এ রকম কোন ভান আমি করি না। বরং তত্ত্বের পরীক্ষা-মূলক ভিত্তির বিচার আমি করেছি অনেকটা 'বিমাতৃসুলভ" পদ্ধতিতে; যে সমস্ত পাঠক পদার্থবিদ্যার সঙ্গে অপরিচিত তাঁরা যেন বাঁশ বনে ডোম কানা না হন (unable to see the forest for trees); উদ্দেশ্য এ বই থেকে চিন্তার সঙ্কেতের আনন্দ যেন পাঠক উপভোগ করতে পারেন।

এ. আইনস্টাইন

ডিসেম্বর, ১৯১৬

পঞ্চদশ সংস্করণের ভূমিকা

এই সংস্করণের পঞ্চম পরিশিষ্টে আমি স্থানসমস্যা সম্পর্কে আমার ধারণা এবং অপেক্ষবাদী দৃষ্টিভঙ্গির প্রভাবে স্থান সম্পর্কে আমাদের চিন্তাধারার ক্রমশ পরিবর্তন উপস্থাপন করেছি। আমি দেখাতে চেয়েছিলাম স্থান-কাল এমন একটা কিছু হবার প্রয়োজন নেই যার উপরে আমরা ভৌত বাস্তবতায় বর্তমান পদার্থ নিরপেক্ষ স্বতন্ত্র অস্তিত্ব আরোপ করতে পারি। ভৌতবস্তুগুলি স্থানে (in space) অবস্থিত নয় বরং এই বস্তুগুলি স্থানিকভাবে-বিস্তৃত (spatially extended)। এইভাবে "শূন্যস্থান" বিষয়ক ধারণার অস্তিত্ব লোপ পায়।

৯ই জুন, ১৯৫২

এ. আইনস্টাইন

বাংলা অনুবাদকের বক্তব্য

"অপেক্ষবাদে" আইনস্টাইন গ্যালিলিও-নিউটনভিত্তিক পদার্থবিদ্যার তরঙ্গসংকুল সরোবরকে প্রবাহিনী স্রোতস্বিনীতে পরিণত করেছেন। পদার্থবিদ্যা বিজ্ঞান, দর্শন তথা সমগ্র মানব চিন্তাধারার জননী। সুতরাং বিষয়টি দুরূহ সন্দেহ নেই। তবে নব্য পদার্থবিদ্যার চিন্তাধারার সঙ্গে পরিচয় না থাকলে সৃষ্টিশীল বুদ্ধিজীবীর শিক্ষা অসম্পূর্ণ থাকে। আইনস্টাইনকে বাংলায় উপস্থিত করার সপক্ষে এই যুক্তিই ছিল আমাদের চালিকাশক্তি।

প্রাসঙ্গিক বইটির মূল জার্মান ভাষায়। রবার্ট. ডব্লু. লসন (Robert. W. Lawson) এর ইংরাজী অনুবাদ করেন। সে অনুবাদে আচার্যের অনুমোদন ছিল। আইনস্টাইন তাঁর সমগ্র গ্রন্থস্বত্ব দান করে গিয়েছেন ইজরায়েলের হিব্রু বিশ্ববিদ্যালয়কে। এ অনুবাদ প্রকাশিত হোল তাঁদের অনুমতি এবং অনুমোদন অনুসারে।

এই বাংলা অনুবাদের ভাষা সম্পর্কে অনুবাদকের বক্তব্য "পদার্থবিদ্যার বিবর্তন" বইটির ভূমিকায় বলা হয়েছে। এখানে তার খানিকটা পুনরুক্তি করা হোল।

আমাদের বাংলা ভাষা যদিও ভাবপ্রকাশ বিষয়ে পৃথিবীর শ্রেষ্ঠ ভাষাগুলির একটি তবুও আমাদের পরিভাষায় এখনো সম্পূর্ণ স্থিরত্ব আসে নি।

তাছাড়া আইনস্টাইন ছিলেন একাধারে বৈজ্ঞানিক এবং দার্শনিক। সুতরাং তাঁর ব্যবহৃত ভাষার পূর্ণ অর্থবোধের সম্পূর্ণ ক্ষমতা অনুবাদকের নেই। সেইজন্য অনুবাদ যতটা সম্ভব আক্ষরিক করার চেষ্টা করা হয়েছে এবং চেষ্টা করা হয়েছে যতটা সম্ভব তৎসম এবং তদ্ভব শব্দ ব্যবহার করার। তার কারণ অনুবাদকের ধারণা বাঙালী পাঠকের কাছে তৎসম এবং তদ্ভব শব্দ নিকটতর। এর যৌক্তিকতা সম্পর্কে "পদার্থবিদ্যার বিবর্তন" বইটির ভূমিকায় আলোচনা করা হয়েছে।

এ অনুবাদেও প্রচলিত বাংলা, সংস্কৃত, ইংরাজী এবং পারিভাষিক অভিধানের সাহায্য নেওয়া হয়েছে। তবুও ভাষা সম্পর্কে নিম্নলিখিত কয়েকটি প্রাসঙ্গিক বক্তব্য উপস্থিত করা উচিত মনে হয়।

আইনস্টাইন ও ইনফেল্ড রচিত "পদার্থবিদ্যার বিবর্তন" বইটিতে Co-ordinate-এর বাংলা করা হয়েছে নির্দেশক। এ শব্দটা নেওয়া হয়েছিল দিল্লীর পরিভাষা কোষ থেকে। পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ প্রকাশিত এবং শ্রীযুক্ত দেবীপ্রসাদ রায় চৌধুরী প্রণীত পরিভাষা কোষে Co-ordinate-এর বাংলা করা হয়েছে স্থানাঙ্ক। আমরা এ অনুবাদে দুটি শব্দই ব্যবহার করেছি। আমাদের কাছে নির্দেশক এবং স্থানাঙ্ক সমার্থক।

Relativity-র বাংলা অপেক্ষবাদ। আইনস্টাইন যেখানে relativity কিম্বা theory of relativity ব্যবহার করেছেন সেখানে তার বাংলা করা হয়েছে অপেক্ষবাদ। কিন্তু যেখানে তিনি Principles of Relativity কিম্বা Relativity Principles ব্যবহার করেছেন সেখানে অনুবাদ করা হয়েছে আপেক্ষিকতার নীতি কিংবা আপেক্ষিক নীতি।

Corner শব্দের উপযুক্ত বাংলা প্রতিশব্দ খুঁজে পাইনি। 'কোণ' শব্দটি জ্যামিতির পারিভাষিক শব্দ angle-এর বাংলা পরিভাষা। সেইজন্য আমরা Corner-এর বাংলা করেছি প্রান্তকোণ।

Definite শব্দটি নিয়েও আমরা অসুবিধায় পড়েছি। সেইজন্য কোথাও ব্যবহার করা হয়েছে সুনিশ্চিত, কোথাও নির্দিষ্ট নিশ্চিত, আবার কোথাও শুধু নির্দিষ্ট।

'Surface' শব্দের বাংলা পৃষ্ঠ, পৃষ্ঠতল, বহিস্তল, উপরিতল ইত্যাদি। আমরা ব্যবহার করেছি কোথাও পৃষ্ঠ, কোথাও পৃষ্ঠতল, আবার কোথাও উপরিতল।

কতগুলি শব্দ কখনো মনে হয়েছে পারিভাষিক অর্থে ব্যবহৃত আবার কখনো মনে হয়েছে ব্যবহৃত সাধারণ অর্থে। সে সব ক্ষেত্রে অনুবাদককে অনেকটাই স্বাধীনতা নিতে হয়েছে। তবে সব সময়ই বন্ধনীতে মূল ইংরাজী শব্দ দেয়া হয়েছে। যেমন interference—ব্যতিচার, function—অপেক্ষক ইত্যাদি।

দার্শনিক অর্থে mechanical শব্দের বাংলা অধিযন্ত্রবাদী। কিন্তু পদার্থ-বিদ্যার অংশ হিসাবে বাংলা করা হয়েছে বলবিদ্যা।

A priori শব্দটি দর্শন শাস্ত্রের। দার্শনিক অর্থে বাংলা করা হয়েছে "অবরোহী যুক্তিভিত্তিক"। কিন্তু অনেক ক্ষেত্রে মনে হয়েছে আচার্য এ শব্দটি ব্যবহার করেছেন: "প্রকৃত অভিজ্ঞতা ব্যতিরেকে পূর্ব সংস্কার অনুযায়ী চিন্তা করা" অর্থে। সেইজন্য দু-একটি ক্ষেত্রে এই শব্দ বিষয়ে আমাদের একটু স্বাধীন ব্যবহার করতে হয়েছে। তবে তার কারণ অজ্ঞতা হতে পারে, কিন্তু ঔদ্ধত্য নয়।

শ্রীযুক্ত দেবীপ্রসাদ রায় চৌধুরীর পারিভাষিক অভিধানে analytical-এর বাংলা

দেয়া আছে বিশ্লেষিক। কিন্তু ব্যুৎপত্তি অনুসারে হওয়া উচিত বৈশ্লেষিক। অন্যান্য অভিধানেও বৈশ্লেষিক শব্দই উল্লেখ করা হয়েছে। সুতরাং আমরা বৈশ্লেষিক শব্দই ব্যবহার করেছি।

গোস্বামী তুলসীদাস, আকবর বাদশাহ ইত্যাদির উপদেষ্টা কাশীর বাঙালী পণ্ডিত বিখ্যাত মধুসূদন সরস্বতী সম্পর্কে কথিত আছে : মধুসূদনের জ্ঞানের সীমা একমাত্র সরস্বতীই জানেন এবং সরস্বতীর জ্ঞানের সীমা জানেন মধুসূদন। সেইজন্যই তাঁকে বলা হোত মধুসূদন সরস্বতী।

আধুনিক যুগে বোধ হয় এই বিশেষণ আইনস্টাইন সম্পর্কেও প্রযোজ্য। তা ছাড়া অপেক্ষবাদ আধুনিক চিন্তাধারার ক্ষেত্রে সব চাইতে গুরুত্বপূর্ণ ধারাগুলির একটি। সুতরাং এ বইয়ের অনুবাদ সহজকর্ম নয়।

অনুবাদক নিজে সাক্ষর কিন্তু অশিক্ষিত। এই মন্তব্যকে কেউ যদি বৈষ্ণব বিনয় মনে করেন তা হোলে ভুল করবেন। কথাটা আক্ষরিক অর্থে সত্য।

এ বই, অনুবাদককে পড়তে হয়েছে আধুনিক পদার্থবিদ্যার সঙ্গে পরিচিত হবার জন্য। অনুবাদকের বাংলা ভাষা জ্ঞান অল্প, ইংরাজী ভাষা জ্ঞানের স্বল্পতা ততোধিক। যেহেতু বইটা একবার পড়লে বোঝা যায় না সেইজন্য বার বার পড়ার সুযোগ পাবার উদ্দেশ্যে বাংলাটা লেখা হয়েছিল। ইংরাজীর চাইতে বাংলা ভাল বুঝি এই জন্য।

অনুবাদকের ধারণা এ অনুবাদে প্রচুর ভুল ত্রুটি রয়েছে। ত্রুটির উৎস অনেক। তবে প্রধান উৎস—অনুবাদকের ভাষা, গণিত, পদার্থবিদ্যা এবং দর্শনশাস্ত্রে জ্ঞানের স্বল্পতা।

তবুও এ অনুবাদ প্রকাশকের হাতে দেয়ার কারণ : এই দুরূহ বিষয় বোঝার জন্য অনুবাদক যে পরিশ্রম করেছে তার ফলভাগ সবাইকে বণ্টন করা।

তাছাড়া গুণীজন যদি এই অক্ষম প্রচেষ্টায় ক্রুদ্ধ হয়ে সত্যিকারের ভাল অনুবাদে হাত দেন তাহলে অনুবাদক তার পরিশ্রম সার্থক জ্ঞান করবে।

শত্রুজিৎ দাশগুপ্ত

বিষয়সূচী

প্রথম খণ্ড

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ

দ্বিতীয় খণ্ড

ব্যাপক অপেক্ষবাদ

তৃতীয় খণ্ড

পূর্ণরূপে মহাবিশ্ব সম্পর্কে বিচার

পরিশিষ্ট

জীবনের স্বার্থে শুদ্ধ চেতনার সপক্ষে
সংগ্রামী মানুষের হাতে এই
অনুবাদ উৎসর্গ করা হোল

অপেক্ষবাদ

বিশিষ্ট এবং ব্যাপকতত্ত্ব

অপেক্ষবাদ

প্রথম খণ্ড

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ

I
জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞার ভৌত অর্থ

এই বইয়ের পাঠকদের বেশীর ভাগই স্কুলজীবনে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির মহান অবয়বের (noble building) সঙ্গে পরিচিত হয়েছেন। ভালবাসায় না হলেও অন্তত শ্রদ্ধায় আপনাদের মনে পড়বে এই চমৎকার প্রাসাদ। একাধিক কর্তব্যপরায়ণ শিক্ষক সে প্রাসাদের অত্যুচ্চ সিঁড়িতে ঘণ্টার পর ঘণ্টা আপনাদের তাড়া করেছেন। এ বিজ্ঞানের অতি অদ্ভুত প্রতিজ্ঞাকেও যদি কেউ অসত্য বলে তাহলে নিশ্চয়ই তাকে আপনারা ঘৃণা করবেন। সে ঘৃণার কারণ আপনাদের অতীত অভিজ্ঞতা। কিন্তু কেউ যদি আপনাকে প্রশ্ন করে, "এই প্রতিজ্ঞাগুলি সত্য : আপনার এই দৃঢ় ঘোষণার অর্থ তা হলে কি ?" তৎক্ষণাৎ আপনার সগর্ব নিশ্চিতি আপনাকে পরিত্যাগ করবে। এই প্রশ্ন আর একটু বিচার করা যাক।

কয়েকটি কল্পন (conception) থেকে জ্যামিতির শুরু। যেমন, "তল (plane)", "বিন্দু (point)", "ঋজু রেখা", (straight line)। এগুলিকে আমরা কমবেশী কয়েকটি নিশ্চিত ধারণার সঙ্গে যুক্ত করতে পারি। তাছাড়া জ্যামিতির শুরু কতগুলি সরল প্রতিজ্ঞা (স্বতঃসিদ্ধ, axioms) থেকে। এই ধারণাবলীর জন্য সেই স্বতঃসিদ্ধগুলিকে আমরা "সত্য" বলে মেনে নিতে চাই। তারপর যুক্তিবিদ্যার একটি পদ্ধতির ভিত্তিতে বাকি প্রতিজ্ঞাগুলি এই স্বতঃসিদ্ধ থেকে উপপাদিত বলে দেখানো হয়—অর্থাৎ তারা প্রমাণিত হয়। যুক্তিবিদ্যার সেই পদ্ধতিগুলিকে মেনে নিতে আমরা নিজেদের বাধ্য মনে করি। একটি প্রতিজ্ঞা যখন স্বতঃসিদ্ধ থেকে অনুমোদিত

প্রণালীতে উপপাদিত হয় তখন সেটা নির্ভুল ("সত্য")। তা হলে জ্যামিতির একটি প্রতিজ্ঞার সত্যতার প্রশ্ন, পরিণত হয় স্বতঃসিদ্ধের সত্যতার প্রশ্নে। এখন, এ তথ্য বহুদিন ধরে জানা, যে জ্যামিতির পদ্ধতিগুলির সাহায্যে শেষের প্রশ্নটির উত্তর দেওয়া সম্ভব নয়। অথচ স্বতঃত (in itself) প্রশ্নগুলি একেবারেই অর্থহীন। দুটি বিন্দুর ভিতর দিয়ে একটি মাত্র ঋজুরেখা গমন করে এ তথ্য সত্য কিনা এ প্রশ্ন আমরা করতে পারি না। আমরা শুধুমাত্র বলতে পারি ইউক্লিডীয় জ্যামিতি "ঋজুরেখা" নামক কতগুলি জিনিষ নিয়ে কাজ করে। সেই ঋজুরেখাগুলির প্রতিটির উপর অবস্থিত দুটি বিন্দুর দ্বারা অদ্বিতীয়ভাবে (uniquely) তাদের স্বভাব নির্ধারিত : এই ধর্ম তাদের উপর আরোপ করা হয়। "সত্য" এই কল্পন (concept) শুদ্ধ জ্যামিতির দৃঢ় ঘোষণার সঙ্গে মেলে না। কারণ, "সত্য" শব্দ বলতে শেষ পর্যন্ত একটি "বাস্তব" পদার্থের সঙ্গে অনুরূপত্ব বোঝাতেই আমরা অভ্যস্ত। জ্যামিতি কিন্তু তার অন্তঃস্থিত ধারণাগুলির সঙ্গে অভিজ্ঞতালব্ধ বস্তুগুলির সম্পর্ক নিয়ে সংশ্লিষ্ট নয়। সে শুধু সংশ্লিষ্ট এই ধারণাগুলির পরস্পরের যুক্তিভিত্তিক সম্পর্কের সঙ্গে।

কিন্তু এ সত্ত্বেও কেন আমরা জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞাগুলিকে "সত্য" বলে মেনে নিতে বাধ্য বোধ করি সেটা বোঝা শক্ত নয়। জ্যামিতির ধারণাগুলি কমবেশী প্রাকৃতিক বস্তুগুলির যথাযথ অনুরূপ। শেষের মন্তব্যগুলি নিঃসন্দেহে ঐ ধারণার উৎপত্তির একমাত্র কারণ। নিজস্ব অবয়বকে সর্বাধিক যুক্তিভিত্তিক ঐক্য প্রদান করার জন্য জ্যামিতির উচিত এ পথ পরিত্যাগ করা। উদাহরণ : "দূরস্থিত" কার্যত অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের উপর অবস্থিত দুটি চিহ্নিত অবস্থানকে দেখার অভ্যাস আমাদের চিন্তার স্বভাবে গভীরভাবে নিহিত। তাছাড়া উপযুক্তভাবে নির্বাচিত আমাদের পর্যবেক্ষণ স্থান থেকে তিনটি বিন্দুর আপাতদৃষ্ট অবস্থান এক চক্ষুতে পর্যবেক্ষণ করে যদি অবস্থানগুলির সমাপতন (coincide) ঘটানো যায় তা হলে বিন্দুগুলি ঋজুরেখায় অবস্থিত বলে বিচার করতে আমরা অভ্যস্ত।

যদি আমরা চিন্তার অভ্যাস অনুসরণ করে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির প্রতিজ্ঞাকে এই একক প্রতিজ্ঞা দিয়ে সম্পূরণ করি (supplement) যে, কার্যত অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের উপর অবস্থিত দুটি বিন্দু সব সময়ই একই দূরত্বের (line interval রৈখিক অন্তর) অনুরূপ এবং আমরা সে বস্তুপিণ্ডের অবস্থানের যে পরিবর্তনই করি না কেন, এ তথ্য সে পরিবর্তননিরপেক্ষ। তা হলে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির প্রতিজ্ঞাগুলি পরিণত হয় কার্যত অনমনীয় বস্তুপিণ্ডগুলির সম্ভাব্য আপেক্ষিক অবস্থানের

প্রতিজ্ঞায়।[1] এইভাবে সম্পূরণ (supplemented) হলে জ্যামিতিকে পদার্থবিদ্যার শাখা হিসাবে বিচার করা উচিত। জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞাকে এইভাবে ব্যাখ্যা করলে বিধিসঙ্গতভাবেই তার "সত্যতা" সম্পর্কে প্রশ্ন করতে পারি কারণ যে সমস্ত বাস্তব পদার্থকে আমরা জ্যামিতিক চিন্তাধারার অনুষঙ্গী করেছি সেগুলির ক্ষেত্রে এই প্রতিজ্ঞাগুলি পর্যাপ্ত কিনা সে প্রশ্ন করার যুক্তি আমাদের রয়েছে। আর একটু স্বল্প যথাযথভাবে এ তথ্য আমরা প্রকাশ করতে পারি এই ভাষায় : এই অর্থে একটি জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞার "সত্যতা" বলতে আমরা বুঝি রুলার (ঋজুরেখা অংকনের জন্য ব্যবহৃত দণ্ড) এবং কম্পাসের সাহায্যে গঠনক্রিয়ার ক্ষেত্রে এর সত্যতা।

এ অর্থে জ্যামিতির প্রতিজ্ঞার "সত্যতায়" বিশ্বাসের ভিত্তি নিশ্চয়ই অসম্পূর্ণ অভিজ্ঞতা মাত্র। আপাতত আমরা জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞার "সত্যতা" মেনে নেব। তারপর এরপরের ধাপে (ব্যাপক অপেক্ষবাদে) আমরা দেখবো এ "সত্য" সীমাবদ্ধ এবং বিচার করবো এই সীমাবদ্ধতার পরিমাণ।

---

1 এর ফলশ্রুতি : একটি স্বাভাবিক বস্তু একটি ঋজুরেখার অনুসঙ্গী (associated)। দুটি বিন্দু A এবং C দেয়া থাকলে যদি B এমনভাবে নির্বাচিত হয় যে AB এবং BC এর দূরত্বের যোগফল যথাসম্ভব কম তা হলে A, B, এবং C এই তিনটি বিন্দু ঋজুরেখাশায়ী। এই অসম্পূর্ণ ধারণার ইঙ্গিত (suggestion) আমাদের বর্তমান উদ্দেশ্যের পক্ষে যথেষ্ট।

II

স্থানাঙ্কতন্ত্র

(The system of Co-ordinates)

দূরত্বের ভৌত ব্যাখ্যার যে ইঙ্গিত দেওয়া হোল তার ভিত্তিতে আমরা মাপনের সাহায্যে অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের উপর অবস্থিত দুটি বিন্দুর দূরত্ব প্রতিপন্ন করতে পারি। এই উদ্দেশ্যে আমাদের প্রয়োজন একটি "দূরত্ব" (দণ্ড S)। এটা একবার ব্যবহার করা হবে ও সবার জন্য ব্যবহার করা হবে এবং এটিকে আমরা ব্যবহার করি প্রমাণ মাপন দণ্ডরূপে। এখন যদি, একটি অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের উপর A এবং B এই দুটি বিন্দু থাকে তাহলে আমরা জ্যামিতির নিয়ম অনুসারে তাদের সংযোগকারী রেখা আঁকতে পারি। তখন A থেকে শুরু করে B-তে না পৌঁছানো পর্যন্ত আমরা বারংবার দূরত্ব S চিহ্নিত করে যেতে পারি। এই ক্রিয়া যে ক'বার করতে হবে AB-র দূরত্বের সংখ্যাগত মাপ সেটাই। দৈর্ঘ্যের সমস্ত মাপনের এটাই ভিত্তি।[1]

একটি ঘটনার দৃশ্যপটের কিংবা স্থানে একটি বস্তুর অবস্থানের যে কোন বিবরণের ভিত্তি একটি অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের (নির্দেশ বস্তুপিণ্ড) উপর অবস্থিত বিন্দুর বিশিষ্ট গুণ (specification)। সে বিন্দুটি এমন যে তার সঙ্গে ঘটনা কিংবা বস্তুর সমাপতন (coincide) ঘটে। এটা শুধু বৈজ্ঞানিক বিবরণের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য নয়, প্রযোজ্য দৈনন্দিন জীবনেও। আমি যদি "ট্রাফালগার স্কোয়ার

---

1 এখানে আমরা অনুমান করেছি অবশিষ্ট কিছু নেই। অর্থাৎ মাপনের ফল একটি পূর্ণ সংখ্যা। এই সংকট থেকে উত্তীর্ণ হওয়া যায় ভাগ করা মাপন দণ্ড দিয়ে। সে রকম দণ্ড উপস্থাপিত হলে কোন মূলগত নতুন পদ্ধতির প্রয়োজন হয় না।

লন্ডনের (Trafalgar Square, London)"[1] স্থানিক বিশিষ্ট (place specfication) গুণ বিশ্লেষণ করি তাহলে আমি নিম্নলিখিত ফলে পোঁছাব। স্থানের বৈশিষ্ট্য বিষয়ে উল্লিখিত অনমনীয় বস্তুপিণ্ড পৃথিবী, "ট্রাফালগার স্কোয়ার লন্ডন'' উত্তম সংজ্ঞা বিশিষ্ট একটি বিন্দু। সে বিন্দুর একটি নাম দেওয়া হয়েছে এবং ঘটনাটির সঙ্গে স্থানে সে বিন্দুর সমাপতন ঘটে।[2]

স্থানের বৈশিষ্ট্য নির্ণয়ের এই আদিম পদ্ধতি শুধুমাত্র অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের স্থানগুলি নিয়েই ক্রিয়াকর্ম করে এবং পরস্পর সাপেক্ষ পার্থক্য নির্ণয় করা যায় পৃষ্ঠতলে (surface) এই রকম একাধিক বিন্দুর অস্তিত্বের উপর নির্ভরশীল। কিন্তু স্থান সম্পর্কে আমাদের বিশিষ্ট নির্দেশকের (specification) পরিবর্তন না করেও আমরা এই দুটি সীমাবদ্ধতা থেকে নিজেদের মুক্ত করতে পারি। উদাহরণ : এক টুকরো মেঘ যদি ট্রাফালগার স্কোয়ারের উপর ভাসতে থাকে তাহলে আমরা ট্রাফালগার স্কোয়ার থেকে উল্লম্ব (perpendicular) মেঘ পর্যন্ত একটি দণ্ড দিয়ে পৃথিবীর পৃষ্ঠতল (surface) সাপেক্ষ তার অবস্থান নির্ণয় করতে পারি। প্রমাণ মাপনদণ্ড দিয়ে মাপা দণ্ডটির দৈর্ঘ্য এবং উল্লম্ব দণ্ডের পাদদেশের অবস্থানের বিশিষ্ট নির্দেশক এই দুয়ে মিলে স্থানের বৈশিষ্ট্যের নির্দেশক সম্পূর্ণ সরবরাহ করে। এই উদাহরণ থেকে আমরা বুঝতে পারি স্থান সম্পর্কীয় কল্পনের সংস্কার কিভাবে বিকাশ লাভ করেছে।

(ক) আমরা অনমনীয় বস্তুপিণ্ডটি কল্পনা করছি। অবস্থানের বৈশিষ্ট্য নির্দেশক উল্লেখ করা হয়েছে সেই বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ, এবং তার এমন ভাবে সম্পূরণ করা (supplement) হয়েছে যে, অনমনীয় বস্তুপিণ্ডটি সম্পূরণ করলে যে বস্তুর অবস্থান আমাদের প্রয়োজন সেই বস্তু অবধি পোঁছোয়।

(খ) একটি বস্তুর অবস্থান নির্ণয় করার জন্য আখ্যাত (designated) বিন্দুগুলির উল্লেখ না করে আমরা একটি সংখ্যা ব্যবহার করি। (এ ক্ষেত্রে মাপনী

---

1 মূল বইয়ে উল্লিখিত "পটসডামার প্লাজ বার্লিন (Potsdamer Platz, Berlin)" এর বদলে এটা আমি বেছে নিয়েছি, কারণ ইংরেজী পাঠকের কাছে এটা বেশী পরিচিত। রবার্ট ডব্লু লসন (Robert W. Lawson)।

2 "স্থানে সমাপতন" কথাটির মর্মার্থ (significance) নিয়ে আর অনুসন্ধানের প্রয়োজন এখানে নেই। এই ধারণা যথেষ্ট স্পষ্টভাবে প্রতীয়মান সুতরাং কার্যক্ষেত্রে এটা প্রয়োগযোগ্য কিনা তা নিয়ে মতভেদের সম্ভাবনা অতি সামান্য।

দণ্ড দিয়ে মাপা দণ্ডের দৈর্ঘ্য।)

(গ) যে দণ্ডটি মেঘ পর্যন্ত পৌঁছানোর কথা সেটা দাঁড় করানো না হলেও আমরা মেঘের উচ্চতা উল্লেখ করি। ভূমিতে বিভিন্ন অবস্থান থেকে মেঘটির আলোকীয় (optical) পর্যবেক্ষণের সাহায্যে এবং আলোকের বিস্তার (propagation) সম্পর্কীয় ধর্ম বিবেচনা করে আমরা মেঘ অবধি পৌঁছোতে যে দণ্ডটি লাগতো তার দৈর্ঘ্য নির্ধারণ করি।

এই বিবেচনা থেকে আমরা দেখতে পাই উল্লিখিত অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের চিহ্নিত অবস্থানগুলির (নামধারী) অস্তিত্বের উপর নির্ভরতা থেকে নিজেদের মুক্ত করে সংখ্যাভিত্তিক মাপনের সাহায্যে অবস্থানের বিবরণ দেয়া গেলে সুবিধা হয়। মাপনের পদার্থবিদ্যায় কার্তেজীয় স্থানাঙ্কতন্ত্র (system of co-ordinates) ব্যবহার করে এ উদ্দেশ্য সাধন করা হয়।

এ তন্ত্রে রয়েছে পরস্পরের সঙ্গে লম্ব সম্পর্ক সম্পন্ন এবং একটি অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের সঙ্গে অনমনীয় ভাবে সংযুক্ত তিনটি সমতল পৃষ্ঠ (plane surface)। একটি স্থানাঙ্কতন্ত্রে (system of co-ordinates) আরোপিত হলে যে কোন ঘটনাস্থল সেই স্থলথেকে তিনটি সমতল পৃষ্ঠের (plane surface) উপর পর্যন্ত অঙ্কিত তিনটি লম্বরেখা কিংবা স্থানাঙ্কের (x, y, z) দৈর্ঘ্য দিয়ে নির্ধারণ (প্রধানত) করা হয়। অনমনীয় মাপনদণ্ডের অনুক্রমিক বারম্বার ব্যবহারের সাহায্যে এই তিনটি লম্বের দৈর্ঘ্য নির্ধারণ করা যায়। ইউক্লিডীয় জ্যামিতির নির্ধারিত পদ্ধতির বিধি অনুসারে এ ক্রিয়া সম্ভব।

যে কয়েকটি অনমনীয় পৃষ্ঠতল দিয়ে এই স্থানাঙ্কগুলি গঠিত সাধারণত কার্যক্ষেত্রে সেগুলি পাওয়া যায় না। তাছাড়া এই স্থানাঙ্কগুলির পরিমাণ কার্যক্ষেত্রে অনমনীয় দণ্ডের দ্বারা গঠন কার্যের সাহায্যে করা হয় না। করা হয় পরোক্ষ পদ্ধতিতে। পদার্থবিদ্যা এবং জ্যোতির্বিদ্যার ফলাফলগুলির স্পষ্টতত্ব রক্ষা করতে হলে অবস্থানের বৈশিষ্ট্যের ভৌত অর্থ সর্ব সময়েই উপরে লিখিত ফলগুলির ভিত্তিতে করা আবশ্যিক।[1]

তা হলে নিম্নলিখিত ফল আমরা পেলাম : স্থানে ঘটমান প্রতিটি ঘটনার

---

1 ব্যাপক অপেক্ষবাদ নিয়ে আলোচনায় পৌঁছানোর আগে এই দৃষ্টি ভঙ্গিগুলির পরিবর্তন এবং বিশোধনের প্রয়োজন নেই। ব্যাপক অপেক্ষবাদ নিয়ে আলোচনা করা হয়েছে এ বইয়ের দ্বিতীয় খণ্ডে।

বিবরণে একটি অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের প্রয়োজন হয়। ঘটনার উল্লেখ করা হয় সেই বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ। তার ফলে যে সম্পর্ক সৃষ্টি হয় সে সম্পর্ক—"দূরত্ব" বিষয়ে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির বিধিগুলিকে বিনাবিচারে মেনে নেয়। এই রীতি অনুসারে অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের উপর অবস্থিত দুটি বিন্দুর সাহায্যে সেই "দূরত্বের" ভৌতরূপ দান করা হয়।

III

চিরায়ত বলবিদ্যায় স্থান ও কাল

বলবিদ্যার (Mechanics) উদ্দেশ্য বস্তুপিণ্ডগুলি কিভাবে "কালের'' সঙ্গে স্থানে (space) তাদের অবস্থানের পরিবর্তন করে তার বিবরণ দেয়া। গুরুত্বের সঙ্গে চিন্তা না করে এবং বিস্তারিত বিবরণ না দিয়ে যদি আমি এই ভাবে বলবিদ্যার উদ্দেশ্য বিধিবদ্ধ করি তা হলে প্রাঞ্জলতার পবিত্র সত্তার বিরুদ্ধে গুরুতর পাপের ভারে আমি নিজের বিবেককে ভারাক্রান্ত করবো। এই পাপগুলিকে প্রকাশ করতে শুরু করা যাক।

''অবস্থান" (position) এবং "স্থান (space)" বলতে এখানে কি বোঝায় সেটা স্পষ্ট নয়। সমরূপে (uniformly) চলমান একটি রেলগাড়ির জানলায় আমি দাঁড়িয়ে এবং বাঁধের উপর একটি পাথর পরিত্যাগ করেছি—ছুঁড়ে দিই নি। তা হলে, বাতাসের বাধার প্রভাব অগ্রাহ্য করলে আমি দেখতে পাই পাথরটার পতন ঋজুরেখায়। একজন পাদচারী পায়ে চলা পথ থেকে এ দুষ্কর্ম পর্যবেক্ষণ করলে দেখবে পাথরটা মাটিতে পড়ছে অধিবৃত্তাকার বক্ররেখায় (parabolic curve)। এখন আমি প্রশ্ন করি পাথরটা যে অবস্থানগুলি অতিক্রম করেছে "বাস্তবে" সেগুলি ঋজুরেখাশায়ী না অধিবৃত্তশায়ী ? তাছাড়া এক্ষেত্রে "স্থানে" গতি কথার অর্থ কি ? পূর্ব অংশের বিচার থেকে উত্তরটা স্বতঃপ্রতীয়মান। প্রথমত আমরা "স্থান (space)" নামক অস্পষ্ট শব্দটি সম্পূর্ণ পরিত্যাগ করছি। আমাদের অবশ্য সততার সঙ্গে মেনে নেয়া উচিত স্থান সম্পর্কে সামান্যতম ধারণাও আমরা করতে পারি না। তার বদলে আমরা ব্যবহার করি—"একটি কার্যত অনমনীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (body of reference) সাপেক্ষ গতি"। নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ অবস্থানগুলির সংজ্ঞা (রেলগাড়ি কিংবা বাঁধ) পূর্ব অংশে এর আগেই বিস্তৃতভাবে দেয়া হয়েছে।

যদি "নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের (body of reference)" বদলে আমরা গাণিতিক বিবরণের পক্ষে প্রয়োজনীয় ধারণা "স্থানাঙ্কতন্ত্র" বসিয়ে দিই তাহলে আমরা বলতে পারি : গাড়িটির সঙ্গে অনমনীয়ভাবে সংযুক্ত স্থানাঙ্কতন্ত্র (system of co-ordinates) সাপেক্ষ পাথরটা ঋজুরেখাগামী কিন্তু ভূমির (বাঁধ) সঙ্গে অনমনীয়ভাবে সংযুক্ত স্থানাঙ্কতন্ত্র সাপেক্ষ তার গতিরেখা অধিবৃত্তাকার (parabola)। এই উদাহরণ থেকে এ তথ্য স্পষ্ট প্রতীয়মান যে অন্যনিরপেক্ষভাবে (independently) বর্তমান প্রক্ষেপপথ (trajectory) (আক্ষরিক অর্থ পথ বক্ররেখা[1]) বলে কিছু নেই—রয়েছে শুধু একটি বিশেষ নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (body of reference) সাপেক্ষ প্রক্ষেপপথ।

গতির 'পূর্ণ' বিবরণ পেতে হলে 'কালের সঙ্গে' বস্তুপিণ্ডের অবস্থানের পরিবর্তন কিভাবে হচ্ছে তার বৈশিষ্ট্য আমাদের অবশ্যই উল্লেখ করতে হবে অর্থাৎ প্রক্ষেপ পথের প্রতিটি বিন্দু সাপেক্ষ বস্তুপিণ্ডটির সেস্থানে অবস্থানের কাল অবশ্যই উল্লেখ করতে হবে। এই সমস্ত উপাত্তগুলিকে (data) অবশ্যই কালের এমন সংজ্ঞা দিয়ে অনুপূরণ করতে হবে (supplemented) যাতে কালকে মূলত পর্যবেক্ষণযোগ্য পরিমাণ (magnitude) রূপে (মাপনের ফল—result of measurement) বিচার করা যায়। আমরা যদি চিরায়ত বলবিদ্যার ভিত্তিভূমিতে অবস্থান গ্রহণ করি তা হলে আমাদের উদাহরণের প্রয়োজন মিটাতে পারি নিম্নলিখত উপায়ে : আমরা অভিন্ন গঠনের দুটি ঘড়ি কল্পনা করি। রেলগাড়ির জানালার কাছের লোকটি একটি ঘড়ি ধরে আছে এবং পায়ে চলা পথের ধারের লোকটির আছে অন্যটি। প্রত্যেক পর্যবেক্ষক নিজের হাতে ধরে থাকা ঘড়ির প্রতিটি টিক্ (tick—মুহূর্ত)-এর সঙ্গে নিজস্ব নির্দেশ বস্তুপিণ্ডে পাথরটির অধিকৃত অবস্থান নির্ধারণ করে। এ প্রসঙ্গে আমরা আলোক বিস্তারের গতিবেগ সীমিত হবার দরুণ যে ভুল জড়িত সেটা হিসাবের ভিতরে ধরিনি। এই ভুল এবং এখানে বিদ্যমান আর একটি অসুবিধা নিয়ে পরে আমাদের বিস্তারিত আলোচনা করতে হবে।

---

1 অর্থাৎ যে বক্ররেখা অনুসারে বস্তুপিণ্ডটি চলমান।

IV

গ্যালিলীয় স্থানাংকতন্ত্র

গ্যালিলি-নিউটন কৃত বলবিদ্যার মূলগত বিধি (fundamental law) 'জড়ত্বীয় বিধি (law of inertia)' নামে খ্যাত। বিধিটির বিবরণ দেওয়া যায় এইভাবে : অন্যান্য বস্তুপিণ্ডগুলি থেকে যথেষ্ট দূরস্থিত হলে একটি বস্তুপিণ্ড স্থিতাবস্থায় থাকে, কিংবা সমরূপে (uniform) ঋজুরেখায় গতিশীল অবস্থায় থাকে। এ বিধি শুধুমাত্র বস্তুপিণ্ডগুলির গতিসম্পর্কে কিছু বলছে তাই নয়। এর ইঙ্গিত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (body of reference) সম্পর্কেও অর্থাৎ বলবিদ্যায় অনুমোদনযোগ্য এবং বলবিদ্যাভিত্তিক বিবরণে ব্যবহারযোগ্য স্থানাঙ্কতন্ত্রগুলি (system of co-ordinates) সম্পর্কে। দৃশ্যমান স্থির তারকাগুলি এমন কয়েকটি বস্তুপিণ্ড যেগুলির ক্ষেত্রে জড়ত্বের বিধি (law of inertia) আসন্ন (approximate) সত্য। এ আসন্নতা অতি উচ্চমানের। এখন যদি আমরা পৃথিবীর সঙ্গে অনমনীয়ভাবে সংযুক্ত একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র (system of co-ordinates) ব্যবহার করি তা হলে এই তন্ত্র সাপেক্ষ জ্যোতিষীয় (astronomical) একদিনে প্রতিটি স্থির তারকা বিরাট ব্যাসার্ধ সম্পন্ন এক বৃত্ত রচনা করে। এ ফল জড়ত্বীয় বিধির (law of inertia) বক্তব্যের বিরোধী। অর্থাৎ আমরা যদি এ বিধির অনুগত থাকি তাহলে এই গতিগুলি আমরা শুধুমাত্র সেই স্থানাঙ্কতন্ত্র (system of co-ordinates) সাপেক্ষই উল্লেখ করতে পারবো যে তন্ত্র সাপেক্ষ স্থির তারকাগুলির বৃত্তাকার গতি নেই। যে স্থানাঙ্কতন্ত্রের গতির অবস্থা সম্পর্কে জড়ত্বের বিধি প্রযোজ্য সে তন্ত্রের নাম—"গ্যালিলীয় স্থানাঙ্কতন্ত্র"। গ্যালিলি-নিউটনের বলবিদ্যার বিধিগুলি শুধুমাত্র গ্যালিলীয় তন্ত্রেই সত্য বলে গ্রহণ করা যেতে পারে।

V

আপেক্ষিকতার নীতি (সীমিত অর্থে)

সম্ভাব্য সব চাইতে স্পষ্টতের জন্য রেলগাড়ির উদাহরণে ফিরে আসা যাক। অনুমান করা হোক রেলগাড়িটি সমরূপে চলমান। গাড়িটির গতির নাম আমরা দেবো সমরূপ স্থানান্তরণ (uniform translation) ["সমরূপের" কারণ তার স্থির গতিবেগ এবং অভিমুখ। "স্থানান্তরণ (translation)" কারণ বাঁধ সাপেক্ষ গাড়িটি যদিও তার অবস্থান পরিবর্তন করছে তবুও পরিবর্তনকালীন সে আবর্তিত হচ্ছে না।] কল্পনা করা যাক হাওয়ায় একটি কাক এমনভাবে উড়ছে যে বাঁধ থেকে পর্যবেক্ষণ করলে তার গতিবেগ সমরূপ এবং ঋজুরেখ। উড়ে চলা কাকটাকে যদি আমরা চলমান রেলগাড়ি থেকে পর্যবেক্ষণ করি তাহলে আমরা দেখবো কাকটার চলনের গতিবেগ ভিন্ন, অভিমুখ ভিন্ন কিন্তু তবুও সে গতিবেগ সমরূপ এবং ঋজুরেখ। অমূর্তভাবে (abstract manner) প্রকাশ করলে আমরা হয়তো বলতে পারি : একটি ভর m যদি একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র (system of co-ordinates) K সাপেক্ষ সমরূপে এবং ঋজুরেখায় চলমান হয় তা হলে দ্বিতীয় একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র K' সাপেক্ষও সেটি সমরূপে ঋজুরেখায় চলমান হবে যদি অবশ্য শেষেরটি K সাপেক্ষ সমরূপে স্থানান্তরিত হতে থাকে। পূর্ব অংশে আলোচনার ফলশ্রুতি :

K যদি গ্যালিলীয় স্থানাঙ্কতন্ত্র (system of co-ordinates) হয় তাহলে K সাপেক্ষ সমরূপ স্থানান্তরণ গতিসম্পন্ন যে কোন স্থানাঙ্কতন্ত্র K' গ্যালিলীয় হবে। গ্যালিলীয় বলবিদ্যার বিধি K সম্পর্কে যে রকম সত্য K' সাপেক্ষও নির্ভুলভাবে সেই রকম সত্য হবে।

মতবাদটি এইভাবে প্রকাশ করলে আমরা সাধারণীকরণের পথে আর এক ধাপ

এগিয়ে যাই : K' যদি K সাপেক্ষ একটি আবর্তনহীন সমরূপে চলমান স্থানাঙ্কতন্ত্র (system of co-ordinates) হয় তাহলে K' সাপেক্ষ স্বাভাবিক পরিঘটনাগুলির গতিপথ নির্ভুলভাবে K সাপেক্ষ সাধারণ বিধির অনুসারী হবে। এই বিবৃতির নাম 'আপেক্ষিকতার নীতি' (সীমিত অর্থে)।

সমস্ত স্বাভাবিক পরিঘটনাগুলির প্রতিরূপ (representation) চিরায়ত বলবিদ্যার সাহায্যে উপস্থাপন করা সম্ভব : এ বিশ্বাস যতদিন পর্যন্ত ছিল ততদিন পর্যন্ত এই আপেক্ষিকতার নীতির সত্যতায় অবিশ্বাস করার কোন কারণ ছিল না। কিন্তু তাড়িৎ-গতি-বিদ্যা (electro dynamics) এবং আলোক বিদ্যার (optics) আধুনিক অগ্রগতির পরিপ্রেক্ষিতে এ তথ্য ক্রমশই অধিকতর স্পষ্ট হয়েছে যে স্বাভাবিক পরিঘটনার ভৌত বিবরণে চিরায়ত বলবিদ্যা প্রদত্ত ভিত্তিভূমি যথেষ্ট নয়। এই সংকট মুহূর্তে আপেক্ষিকতার নীতির সত্যতা সম্পর্কে আলোচনা প্রয়োজনীয় হয়ে উঠেছিল এবং এ প্রশ্নের উত্তর অপরা (negative) হওয়া যে অসম্ভব নয় এ কথা মনে হয়েছিল।

তবুও এমন দুটি সাধারণ তথ্য আছে যারা শুরুতেই আপেক্ষিকতার নীতির সপক্ষে মত প্রকাশ করে। সমস্ত ভৌত ঘটনার তাত্ত্বিক উপস্থাপনের জন্য চিরায়ত বলবিদ্যার ভিত্তিভূমি যথেষ্ট প্রশস্ত নয়। তবুও এর ভিতরে প্রচুর "সত্য" রয়েছে, সে কথা আমাদের মানতেই হবে। তার কারণ এ বিদ্যার সাহায্যে প্রাপ্ত অন্তরীক্ষের বস্তুপিণ্ডগুলির প্রকৃত গতির বিবরণের বিস্তৃতি এত সূক্ষ্ম যে তাকে আশ্চর্যজনকের চাইতে সামান্যই কম বলা চলে। সুতরাং 'বলবিদ্যার' শাসন ভুক্তিতে (domain) আপেক্ষিকতার নীতি অবশ্যই অত্যন্ত নিভুলতার সঙ্গে প্রযোজ্য হবে। কিন্তু এমন বিস্তৃতভাবে সাধারণ একটি নীতি পরিঘটনার একটি ভুক্তিতে (domain) এমন নিভুলভাবে সত্য অথচ অন্যভুক্তিতে অসত্য : 'অবরোহী বিচারে' (*a priori*) ব্যাপারটা খুব সম্ভাব্য মনে হয় না।

এবার আমরা অগ্রসর হই দ্বিতীয় যুক্তির দিকে। সে দিকে আমরা পরেও একবার ফিরে আসবে। আপেক্ষিকতার নীতি (সীমিত অর্থে) যদি সত্য না হয় তা হলে K, K', K'' ইত্যাদি পরস্পর সাপেক্ষ সমরূপে চলমান গ্যালিলীয় স্থানাঙ্কতন্ত্রগুলি (system of co-ordinates) প্রাকৃতিক পরিঘটনাগুলির বিচার বিষয়ে 'তুল্য' হবে না। সম্ভাব্য সমস্ত স্থানাঙ্কতন্ত্রগুলির ভিতরে গতির একটি বিশেষ অবস্থা সম্পন্ন 'একটি' নির্দেশ বস্তুপিণ্ডকে (K_0) আমাদের বেছে নিতে হবে : আবশ্যিকভাবে শুধুমাত্র এই সর্তে প্রাকৃতিক বিধিগুলি একটি বিশেষরূপ সারল্যের

সঙ্গে গঠিত হওয়া সম্ভব : এ তথ্য এ ক্ষেত্রে বিশ্বাস করা আমাদের পক্ষে কষ্টসাধ্য। তা হলে এ তন্ত্রকে সম্পূর্ণভাবে "স্থিতিশীল" (কারণ স্বাভাবিক পরিঘটনার বিবরণে এর যোগ্যতা) বলা আমাদের পক্ষে যুক্তিসংগত হবে এবং যুক্তিসঙ্গত হবে অন্যান্য সমস্ত গ্যালিলীয়তন্ত্র K-কে গতিশীল বলা। উদাহরণ : আমাদের বাঁধটা যদি তন্ত্র K_0 হয় তাহলে আমাদের রেলগাড়িটা হবে তন্ত্র K। তন্ত্র K_0-এর তুলনায় তন্ত্র K-তে প্রযোজ্য বিধিগুলির সারল্য কম হবে। সারল্যের এই হ্রাসের কারণ K_0 সাপেক্ষ গাড়ি K চলমান (অর্থাৎ—"বাস্তবে")। K সাপেক্ষ প্রকৃতির যে সাধারণ বিধিগুলি রচিত হয়েছে সে গুলিতে গাড়ির গতিবেগ এবং অভিমুখ স্বভাবতই একটি ভূমিকা পালন করবে। উদাহরণ : আমরা আশা করবো গতির অভিমুখের সমান্তরাল যদি একটি অর্গান বাঁশির (organ pipe) অক্ষ অবস্থিত থাকে তা হলে তা থেকে নিঃসৃত স্বরের সঙ্গে পার্থক্য হবে সেই একই বাঁশির স্বরের যদি বাঁশটার অক্ষের অবস্থান আগের অভিমুখের লম্বমুখী হয়। এখন, সূর্যকে বেষ্টন করে অবস্থিত কক্ষে গতির দরুণ আমাদের পৃথিবী সেকেন্ডে ত্রিশ কিলোমিটার বেগে চলমান রেলগাড়ির সঙ্গে তুলনীয়। আপেক্ষিকতার নীতি যদি সত্য না হোত তা হলে আমরা আশা করতাম যে কোন মুহূর্তে পৃথিবীর গতির অভিমুখ প্রকৃতির বিধি গঠনে অংশ গ্রহণ করে এবং আশা করতাম ভৌততন্ত্রগুলির আচরণ পৃথিবী সাপেক্ষ স্থানে দিগ্‌বিন্যাসের (orientation in space) উপর নির্ভরশীল হবে। তার কারণ একবৎসরকালের ভিতরে পৃথিবীর আবর্তনের গতিবেগের অভিমুখের পরিবর্তনের ফলে প্রকল্পিত তন্ত্র (hypothetical system) K_0 সাপেক্ষ পূর্ণ একবৎসরকাল পৃথিবী স্থিতিশীল থাকতে পারে না। তবে সর্বাপেক্ষা সযত্ন পর্যবেক্ষণও কখনো পার্থিব ভৌতস্থানের বিষমদৈশিক (anisotropic) ধর্ম, অর্থাৎ বিভিন্ন অভিমুখী ভৌত অতুল্যমানতা (physical non-equivalence) প্রকাশ করতে পারে নি। আপেক্ষিকতা নীতির সপক্ষে এযুক্তি অত্যন্ত শক্তিশালী।

VI

চিরায়ত বলবিদ্যায় একাধিক গতিবেগের যোগ সম্পর্কীয় উপপাদ্য

অনুমান করে নেওয়া যাক আমাদের পুরানো বন্ধু রেলগাড়ি রেললাইনের উপর দিয়ে স্থির গতিবেগ v-তে চলেছে এবং গাড়িতে একটি লোক গাড়ির গতির অভিমুখে w গতিবেগে গাড়ির দৈর্ঘ্য অতিক্রম করছে। এই ক্রিয়ার সময় লোকটি বাঁধ সাপেক্ষ কত দ্রুত অগ্রসর হবে ? কিংবা অন্য ভাষায় তার অগ্রসর হওয়ার গতিবেগ W-এর মূল্য কত ? মনে হয় একমাত্র সম্ভাব্য উত্তর নিম্নলিখিত বিবেচনার ফলশ্রুতি : লোকটি যদি এক সেকেন্ড স্থিরভাবে দাঁড়াতো তা হলে সে বাঁধ সাপেক্ষ v দূরত্ব অগ্রসর হোত। এই v সংখ্যাগতভাবে গাড়ির গতিবেগের সমান। তার হাঁটার দরুণ সে গাড়ি সাপেক্ষ এবং বাঁধ সাপেক্ষ বাড়তি দূরত্ব w অতিক্রম করেছে। এই সেকেন্ডে দূরত্ব w সংখ্যাগতভাবে তার হাঁটার গতিবেগের সমান। তাহলে বিবেচনাধীন সেকেন্ডে বাঁধ সাপেক্ষ সে মোট দূরত্ব অতিক্রম করেছে $W = v + w$। এই ফলশ্রুতি চিরায়ত বলবিদ্যায় ব্যবহৃত গতিবেগের সঙ্কলন (addition) বিষয়ক প্রতিপাদ্যের অভিব্যক্তি। আমরা পরে দেখতে পাব এ উপপাদ্য মেনে নেওয়া যায় না। অর্থাৎ এক্ষুণি আমরা যে বিধি লিপিবদ্ধ করলাম বাস্তবক্ষেত্রে সে বিধি সত্য নয়। তবে আপাতত আমরা অনুমান করবো এ বিধি নির্ভুল।

VII

আলোক প্রসারের বিধির সঙ্গে অপেক্ষবাদ নীতির আপাতদৃষ্ট অসঙ্গতি

শূন্যস্থানে আলোক বিস্তারের বিধির চাইতে সরলতর বিধি পদার্থবিদ্যায় আছে কিনা সন্দেহ। আলোক বিস্তারের ঋজুরেখগতি $c = 300,000$ কিলোমিটার/সেকেন্ড। এ তথ্য স্কুলের সব শিশুই জানে, অন্তত জানে বলে বিশ্বাস করে। অত্যন্ত নিভুর্ল-ভাবে আমরা জানি সব অবস্থাতেই এই গতিবেগ সমস্ত রঙের ক্ষেত্রে অভিন্ন। তা যদি না হোত তা হলে একটি স্থির তারকাকে তার অন্ধকারময় প্রতিবেশী গ্রহণগ্রস্ত (eclipse) করলে বিভিন্ন রঙের সর্বনিম্ন বিকিরণ যুগপৎ দৃষ্ট হোত না। ওলন্দাজ জ্যোতির্বিদ দ্য সিটারও (De Siter) এই ধরনের দ্বিতারকা একাধিকবার পর্যবেক্ষণের ভিত্তিতে বিচারের সাহায্যে দেখাতে সক্ষম হয়েছিলেন : বিকিরণকারী বস্তুপিন্ডের গতিবেগের উপর আলোক বিস্তারের গতিবেগ নির্ভরশীল হতে পারে না। বিস্তারের এই গতিবেগ "স্থানে (in space)" তার অভিমুখের (direction) উপর নির্ভরশীল এ কথা স্বতঃত অসম্ভব।

সংক্ষেপে, আলোকের গতিবেগ c (শূন্য স্থান in vacuum) এর স্থিরত্ব সম্পর্কীয় সরল বিধি মেনে নেওয়া যাক। স্কুলের ছেলেরা সংগতভাবে এ বিশ্বাস করেছে। এই সরল বিধি বিবেকানুগ চিন্তাশীল পদার্থবিদকে কঠিনতম বুদ্ধিগত সংকটে ফেলেছে। এ কথা কে কল্পনা করতে পারতো ? ভাবা যাক এ সংকটের উৎপত্তি কি করে হোল।

আলোক প্রসারের প্রক্রিয়া (এবং অবশ্যই অন্যান্য প্রতিটি প্রক্রিয়া) নিশ্চয়ই আমাদের একটি অনমনীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (স্থানাংকতন্ত্র) সাপেক্ষ করতে হবে ! এই তন্ত্র হিসাবে আবারও নির্বাচন করা যাক বাঁধটাকে। আমরা কল্পনা করবো বাঁধের উপর থেকে বায়ু নিষ্কাশন করে নেওয়া হয়েছে। একটি আলোক রশ্মি যদি বাঁধ

বরাবর প্রেরণ করা যায় তাহলে আমরা উপর থেকে দেখতে পাই রশ্মিমুখ (tip of the ray) বাঁধ সাপেক্ষ c গতিবেগে প্রেরিত হচ্ছে। এখন মাননা করা যাক রেললাইন বরাবর আমাদের রেলগাড়ি v গতিবেগে গমন করছে এবং তার অভিমুখ এবং আলোক রশ্মির অভিমুখ অভিন্ন। তবে রেলগাড়ির গতিবেগ অবশ্য অনেক কম। রেলগাড়ি সাপেক্ষ আলোকরশ্মি বিস্তারের গতিবেগ অনুসন্ধান করা যাক। আগের অংশে যে বিচার করা হয়েছে এ ক্ষেত্রে সে বিচার করা সম্ভব সে তথ্য স্বতঃপ্রতীয়মান কারণ আলোকরশ্মি এখানে গাড়ী সাপেক্ষ অনুদৈর্ঘ্য সম্মুখে চলমান মানুষটির ভূমিকা পালন করছে। বাঁধ সাপেক্ষ আলোকের গতিবেগ এখানে বাঁধ সাপেক্ষ মানুষটির গতিবেগের সূচক W-এর স্থানে প্রতিস্থাপিত। গাড়ি সাপেক্ষ আলোকের যে গতিবেগ জানা প্রয়োজন সেটা হলো w। আমাদের রয়েছে

$$w = c - v$$

তাহলে গাড়ি সাপেক্ষ আলোকের গতিবেগ হচ্ছে c-এর চাইতে কম।

কিন্তু এই ফল অধ্যায় V-এ বিবৃত আপেক্ষিকতা নীতির সঙ্গে দ্বন্দ্বে প্রবৃত্ত। কারণ আপেক্ষিকতার নীতি অনুসারে নির্দেশবস্তুপিণ্ড রেললাইন কিম্বা রেলগাড়ি যাই হোক না কেন প্রকৃতির অন্যান্য সাধারণ বিধির মতো 'শূন্যস্থানে' (in vacuo) আলোক বিস্তারের বিধিও এক হতে হবে। কিন্তু পূর্বে উল্লিখিত বিচার থেকে মনে হয় এটা অসম্ভব। যদি বাঁধ সাপেক্ষ প্রতিটি আলোকরশ্মি c গতিবেগে বিস্তার-লাভ করে তা হলে মনে হয় এই জন্য গাড়ি সাপেক্ষ আলোক বিস্তারের ক্ষেত্রে এই কারণেই অন্য একটি বিধি প্রযোজ্য হবে। এই ফলশ্রুতি আপেক্ষিকতার নীতির বিরুদ্ধগামী।

এই উভয় সংকটের দরুণ মনে হয় আপেক্ষিকতার নীতি এবং 'শূন্যস্থানে' আলোক বিস্তারের বিধি এই দুটির ভিতরে একটিকে পরিত্যাগ করা ছাড়া গত্যন্তর নেই। আপনাদের ভিতর যাঁরা আগের আলোচনায় সযত্ন মনোযোগ দিয়েছেন তাঁরা প্রায় নিশ্চিতভাবে আশা করবেন আমরা বজায় রাখবো আপেক্ষিকতার নীতি, সে নীতি-বোধকে স্পর্শ কোরে এমন বিশ্বাস সৃষ্টি করে তার কারণ আপেক্ষিকতার নীতি এত সরল ও স্বাভাবিক। তাহলে শূন্যস্থানে আলোক বিস্তারের বিধির স্থানে আরও জটিল এমন একটি বিধি স্থাপন করতে হবে যার আপেক্ষিকতার নীতির সঙ্গে সংগতি রয়েছে। তাত্ত্বিক পদার্থবিদ্যার বিকাশ কিন্তু দেখিয়েছে—এ পন্থা আমরা অনুসরণ করতে পারি না। চলমান বস্তুপিণ্ডের সঙ্গে সংযুক্ত আলোকীয় (optical) এবং বিদ্যুৎগতিকী (electrodynamical) পরিঘটনা বিষয়ে এইচ্, এ, লোরেঞ্জ-এর

যুগান্তকারী তাত্ত্বিক গবেষণায় দেখা গিয়েছে, যে এই ভূক্তিতে (domain) অভিজ্ঞতা চূড়ান্ত সিদ্ধান্তমূলক একটি বিদ্যুৎচুম্বকীয় পরিঘটনাতত্ত্বের পৃথক্‌ৎ। 'শূন্যস্থানে' আলোকের গতিবেগের স্থিরত্ব—এ তত্ত্বের একটি প্রয়োজনীয় ফলশ্রুতি। যদিও আপেক্ষিকতা নীতির বিরুদ্ধগামী কোন পরীক্ষালব্ধ উপাত্ত (data) পাওয়া যায় নি তবুও বিখ্যাত তাত্ত্বিক পদার্থবিদরা এ নীতি বাতিল করতেই চেয়েছিলেন।

মল্লভূমিতে অপেক্ষবাদের প্রবেশ এই সন্ধিক্ষণে। স্থান ও কালের ভৌত কল্পনের একটি বিশ্লেষণের ফলে দেখা গিয়েছে 'বাস্তবে আপেক্ষিকতার নীতি এবং আলোক বিস্তারের বিধির ভিতরে সামান্যতম অসঙ্গতিও নেই' এবং এই দুটি নীতি সুসংগত এবং দৃঢ়ভাবে ধারণ করলে একটি যুক্তিবিদ্যাসম্মত অনমনীয় তত্ত্বে পৌঁছানো যায়। আরো বিস্তৃত তত্ত্বের সঙ্গে পার্থক্য করার জন্য এ তত্ত্বের নাম দেওয়া হয়েছে বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ। সেই বিস্তৃত তত্ত্ব সম্পর্কে আমরা পরে আলোচনা করবো। এর পরের পৃষ্ঠাগুলিতে আমরা উপস্থাপন করবো বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের মূলগত ধারণাগুলি।

VIII

পদার্থবিদ্যায় কাল সম্পর্কিত ধারণা বিষয়ে

আমাদের রেলের বাঁধের উপরের রেল লাইনে পরস্পর থেকে বহু দূরে অবস্থিত দুটি স্থান A- এবং B-তে বাজ পড়েছে। আমি দৃঢ়ভাবে আরো ঘোষণা করছি এই দুটি বিদ্যুৎ চমকানো যুগপৎ ঘটেছে। আমি যদি আপনাকে জিজ্ঞাসা করি এ বিবৃতি অর্থবহ কিনা তা হলে আপনার উত্তর হবে নিশ্চিত একটি "হ্যাঁ"। কিন্তু আমি যদি এখন আপনার কাছে গিয়ে আপনাকে এই বক্তব্যের তাৎপর্য আরো যথাযথ ভাবে ব্যাখ্যা করতে বলি তা হলে খানিকটা চিন্তার পর আপনি দেখবেন এ প্রশ্নের উত্তর প্রথম দৃষ্টিতে যতটা সহজ মনে হয় আসলে ততটা সহজ নয়।

কিছুক্ষণ বাদে হয়তো নিম্নলিখিত উত্তরটা আপনার মনে হবে "এই প্রশ্নের উত্তর স্বতঃত স্পষ্ট এবং আর কোনো ব্যাখ্যার প্রয়োজন নেই। ঘটনাটা সত্যই যুগপৎ ঘটেছিল কিনা সেটা পর্যবেক্ষণের সাহায্যে নির্ধারণ করার জন্য যদি আমাকে নিয়োগ করা হয় তা হলে অবশ্য ব্যাপারটা নিয়ে একটু চিন্তা করতে হবে।" নিম্নলিখিত কারণগুলির জন্য এ উত্তরে আমি সন্তুষ্ট হতে পারি না। ধরে নেওয়া যাক কোন দক্ষ আবহবিদ উদ্ভাবনীশক্তিসম্পন্ন বিচারের সাহায্যে আবিষ্কার করলেন বাজকে A- এবং B-এই দুটি স্থানে অবশ্যই যুগপৎ আঘাত করতে হবে। তা হলে এই তাত্ত্বিক ফলশ্রুতি বাস্তবের সঙ্গে সংগতিপূর্ণ কিনা সেটা পরীক্ষার সাহায্যে নির্ধারণের দায়িত্ব গ্রহণ করতে হবে আমাদের। যে সমস্ত ভৌত বিবৃতিতে "যুগপত্তা" বিষয়ক ধারণা একটি ভূমিকা পালন করে তার সর্বত্র রয়েছে একই সংকট। যতক্ষণ পর্যন্ত একটি বাস্তব ক্ষেত্রে এ ধারণা পূর্ণ হয় কি না সে তথ্য আবিষ্কারের সম্ভাবনা না থাকে ততক্ষণ পর্যন্ত পদার্থবিদদের কাছে এ ধারণার অস্তিত্ব নেই। সুতরাং যুগপৎ শব্দের এমন একটি সংজ্ঞা আমাদের প্রয়োজন, যে সংজ্ঞা থেকে বর্তমান ক্ষেত্রে একটি পদ্ধতি

পাওয়া যাবে যার সাহায্যে তিনি বৈজ্ঞানিক পরীক্ষার দ্বারা দুটি বজ্রাঘাত যুগপৎ ঘটেছিল কিনা সে সম্পর্কে সিদ্ধান্ত নিতে পারেন। যতক্ষণ পর্যন্ত এ সর্ত না পূরণ হয় ততক্ষণ পর্যন্ত যদি আমি কল্পনা করি যে যুগপৎ সম্পর্কীয় বিবৃতিতে আমি কোনো অর্থ আরোপ করতে পারি তা হলে পদার্থবিদ হিসাবে (অবশ্য আমি পদার্থবিদ না হলেও একই কথা প্রযোজ্য) আমি নিজের প্রতারিত হওয়া অনুমোদন করছি। (আমি পাঠককে বলবো যতক্ষণ পর্যন্ত এ বিষয়ে তিনি সম্পূর্ণ বিশ্বাস স্থাপন করতে না পারছেন ততক্ষণ পর্যন্ত আর অগ্রসর না হতে।)

কিছুক্ষণ ভাববার পর আপনি যুগপত্তা পরীক্ষার জন্য নিম্নলিখিত উপায় নির্দেশ করতে পারেন। রেল লাইন বরাবর মেপে সংযোগকারী রেখা AB মেপে নিতে হবে এবং AB দূরত্বের মধ্যবিন্দু M-এ একজন পর্যবেক্ষক স্থাপন করতে হবে। এই পর্যবেক্ষককে এমন একটি বন্দোবস্তো করে দিতে হবে (যেমন ৯০°তে আনত দুটি আয়না) যার সাহায্যে সে একই কালে দুটি বিন্দু A এবং B দৃষ্টি দিয়ে পর্যবেক্ষণ করতে পারে। পর্যবেক্ষকের যদি দুটি বিদ্যুৎচমকানোর বোধ একই কালে ঘটে তা হলে বিদ্যুৎচমকানো যুগপৎ।

এই ইঙ্গিতে (suggestion) আমি খুব খুশী হয়েছি কিন্তু তা সত্ত্বেও ব্যাপারটা সম্পূর্ণ স্থিরীকৃত হয়েছে বলে আমি মেনে নিতে পারি না। নিম্নলিখিত আপত্তি উত্থাপন করতে আমি বাধ্য বোধ করছি "আমি যদি শুধুমাত্র জানতাম যে, যে আলোকের সাহায্যে Mএ অবস্থিত পর্যবেক্ষক বিদ্যুৎ চমক বোধ করছেন সে আলোক $A \rightarrow M$ বরাবর দৈর্ঘ্য এবং $B \rightarrow M$ বরাবর দৈর্ঘ্য একই গতিবেগে গমন করে তা হলে আপনার সংজ্ঞা নিশ্চয়ই নির্ভুল হোত। আগে থাকতেই যদি আমাদের কাল মাপনের উপায় থাকতো শুধুমাত্র তা হলেই কিন্তু এ অনুমান পরীক্ষা করা সম্ভব হোত। সুতরাং, এইভাবে মনে হবে আমরা যেন বৃত্তাকার যুক্তিজালে ঘুরছি (logical circle)।"

আরো খানিকটা বিচারের পর আপনি অবজ্ঞার দৃষ্টিতে আমার দিকে তাকান। আপনার সে দৃষ্টি ন্যায়সঙ্গত। তারপর ঘোষণা করেন "তবুও আমি আমার আগের সংজ্ঞা মেনে চলবো কারণ বাস্তবে এ সংজ্ঞা আলোক সম্পর্কে কিছুমাত্র অনুমান করে না। যুগপত্তার সংজ্ঞার কাছে শুধু 'একটি' মাত্র দাবী রয়েছে : যে ধারণার সংজ্ঞা দিতে হবে প্রতিটি বাস্তব ক্ষেত্রে সে ধারণা পূরণ হোল কিনা সে সম্পর্কে এ সংজ্ঞা একটি পরীক্ষা মূলক সিদ্ধান্ত (empirial) প্রদান করবে। আমার সংজ্ঞা যে, সে দাবী পূরণ করে সে সম্পর্কে দ্বন্দ্বের অবকাশ নেই। আলোকের যে $A \rightarrow M$ পথ

এবং $B \rightarrow M$ পথ পরিক্রম করতে একই কালক্ষেপের প্রয়োজন হয় এ তথ্য কোন মাননা (supposition) কিংবা আলোকের ভৌত ধর্ম সম্পর্কে কোন প্রকল্প (hypothesis) নয়। যুগপত্তার সংজ্ঞা নির্ধারণের জন্য আমি আমার স্বাধীন ইচ্ছানুসারে, এ সর্তটি (stipulation) আরোপ করতে পারি।"

এ তথ্য স্পষ্ট যে এই সংজ্ঞা শুধুমাত্র 'দুটি' ঘটনা নয়, আমাদের যতগুলি ঘটনা নির্বাচনের ইচ্ছা সব কটিরই নির্ভুল অর্থ প্রকাশ করার জন্য এ সংজ্ঞা ব্যবহার করা যেতে পারে। এবং সে অর্থ হবে নির্দেশ বস্তুপিন্ড[1] সাপেক্ষ (এ ক্ষেত্রে রেল লাইনের বাঁধ) ঘটনা স্থলের অবস্থান নিরপেক্ষ। পদার্থবিদ্যায় "কালের" সংজ্ঞার পথ নির্দেশ আমরা এই ভাবে পাই। এই উদ্দেশ্যে আমরা অনুমান করি সমরূপ গঠন সম্পন্ন একাধিক ঘড়ি রেল লাইনের (স্থানাঙ্কতন্ত্র) A, B এবং C এই তিনটি বিন্দুতে স্থাপন করা হয়েছে এবং সেগুলি এমন ভাবে বাঁধা হয়েছে যে তাদের কাঁটাগুলির অবস্থান যুগপৎ (উপরের অর্থে) অভিন্ন। এই সমস্ত অর্থে একটি ঘটনার "কাল" বললে আমরা বুঝি ঘড়িগুলির ভিতরে যেটি ঘটনার আসন্ন সন্নিকটে অবস্থিত (স্থানে) সেই ঘড়িটির নির্দেশ (কাঁটাগুলির অবস্থান)। মূলগতভাবে পর্যবেক্ষণ যোগ্য প্রতিটি ঘটনার সঙ্গে তার কালমূল্য এইভাবে (time value) যুক্ত।

এই সর্তের ভিতরে আরো একটি ভৌত প্রকল্প (physical hypothesis) রয়েছে। পরীক্ষামূলক বিরুদ্ধগামী সাক্ষ্য ছাড়া তার সত্যতায় সন্দেহ করা প্রায় অসম্ভব। এ মাননা করা হয়েছে যে ঘড়িগুলির গঠন যদি অভিন্ন হয় তা হলে এই 'ঘড়িগুলির গতির হার একই' (go at the same rate)। আরো নির্ভুলভাবে বলা যায় : যদি একটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের বিভিন্ন স্থানে স্থির অবস্থায় স্থিত দুটি ঘড়ির চলন এমন ভাবে বাঁধা হয় যে একটি ঘড়ির

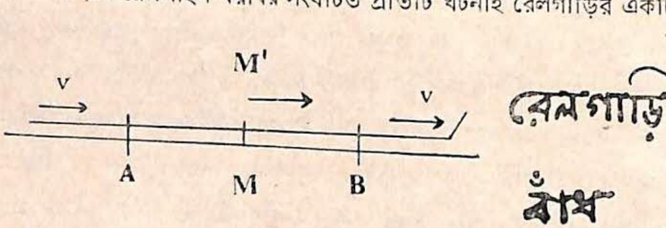
---

1 আমরা আরো মাননা করছি যে যখন A, B এবং C এই তিনটি ঘটনা বিভিন্ন স্থানে এমন ভাবে ঘটে যে A আর B যুগপৎ এবং B ও C যুগপৎ (যুগপৎ-এর অর্থ এখানে, উপরে লিখিত সংজ্ঞা অনুযায়ী) তা হলে A এবং C এই দুটি ঘটনার যুগপত্তার সর্তও পূরণ হয়েছে। এই মাননা আলোকের বিস্তার সম্পর্কিত ভৌত প্রকল্প। শূন্যস্থানে আলোকের গতিবেগের স্থিরত্ব সম্পর্কীয় বিধি যদি আমাদের মানতে হয় তা হলে এ মাননা পূরণ করতেই হবে।

কাঁটাগুলির একটি বিশেষ অবস্থান অন্য ঘড়ির কাঁটাগুলির একই অবস্থানের সঙ্গে যুগপৎ (উপরের অর্থে) তা হলে দুটি ঘড়ির অভিন্ন "বাঁধা" (settings) সর্বসময়ে যুগপৎ (উপরের সংজ্ঞানুসারী অর্থে)।

IX
যুগপত্তার আপেক্ষিকতা

এ পর্যন্ত আমরা বিচার করেছি একটি বিশেষ নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ। সেটার আমরা নাম দিয়েছি "রেলের বাঁধ"। আমরা মাননা করেছি অত্যন্ত লম্বা একটি রেলগাড়ি রেললাইন বরাবর স্থিরগতি v-তে ১নং চিত্রের নির্দেশিত অভিমুখে চলমান। এই ট্রেনের যাত্রীদের ট্রেনটিকে অনমনীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (স্থানাঙ্কতন্ত্র) রূপে ব্যবহার করা সুবিধাজনক হবে। তাঁরা প্রতিটি ঘটনাই বিচার করেন রেলগাড়ি সাপেক্ষ। তাহলে রেললাইন বরাবর সংঘটিত প্রতিটি ঘটনাই রেলগাড়ির একটি বিশেষ



চিত্র ১

বিন্দুতে ঘটেছে। ঠিক যেমন বাঁধ সাপেক্ষ যুগপত্তার সংজ্ঞা দেওয়া হয়েছিল ঠিক তেমনি নির্ভুলভাবে ট্রেন সাপেক্ষ যুগপত্তার সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে। স্বাভাবিক ফলশ্রুতি হিসাবে কিন্তু নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলি উত্থিত হয়:

'রেলের বাঁধ সাপেক্ষ' যে দুটি ঘটনা যুগপৎ (যেমন A ও B-তে দুটি বজ্রাঘাত) 'ট্রেন সাপেক্ষও' কি সে দুটি ঘটনা যুগপৎ? আমরা প্রত্যক্ষভাবে (directly) প্রদর্শন করবো, এ প্রশ্নের উত্তর নিশ্চিতভাবে নেতিবাচক (negatives) হবে।

যখন আমরা বলি A এবং B এই দুটি বজ্রাঘাত বাঁধ সাপেক্ষ যুগপৎ তখন আমাদের কথার অর্থ : যে দুটি স্থানে বিদ্যুৎ চমক ঘটেছে সেই দুটি স্থান A এবং B থেকে নির্গত আলোক রশ্মিগুলি বাঁধের $A \rightarrow B$ দৈর্ঘ্যের মধ্যবিন্দু M-এ পরস্পরের সঙ্গে মিলিত হবে। কিন্তু A এবং B এই দুটি ঘটনা ট্রেনেরও A এবং B এই দুটি অবস্থানের অনুরূপ (correspond)। চলমান ট্রেনের উপরে $A \rightarrow B$ দূরত্বের মধ্যবিন্দু হোক M'। ঠিক যখন বিদ্যুৎচমকগুলি[1] ঘটছে তখন স্বাভাবিক নিয়মে এই বিন্দু M'-এর সঙ্গে M বিন্দুর সমাপতন ঘটেছে। কিন্তু M' গাড়ির v গতিবেগে চিত্রের ডান দিকে চলমান। ট্রেনের M' স্থানে উপবিষ্ট একজন পর্যবেক্ষকের যদি এই গতিবেগ না থাকতো তাহলে সে স্থায়ীভাবে M-এ রয়ে যেত এবং A ও B-তে বিদ্যুৎচমক থেকে নির্গত আলোকরশ্মিগুলি তার কাছে যুগপৎ পেঁছাত অর্থাৎ তার যেখানে অবস্থান ঠিক সেখানে তারা মিলিত হোত। এখন বাস্তবে (রেলের বাঁধ সাপেক্ষ বিচারে) সে B থেকে বিস্তারমান আলোর দিকে দ্রুত ধাবমান। সেই সময়েই সে চলমান A থেকে বিস্তারমান আলোকরশ্মি থেকে দূরে। সুতরাং ঐ পর্যবেক্ষক A থেকে নির্গত আলোক রশ্মির চাইতে B থেকে নির্গত আলোকরশ্মি আগে দেখবে। অতএব যে সমস্ত পর্যবেক্ষক রেলগাড়িকেই তাঁদের নির্দেশ বস্তুপিণ্ডরূপে গ্রহণ করবেন তাঁরা নিশ্চয়ই এই সিদ্ধান্তে আসবেন যে বিদ্যুৎচমক A-র তুলনায় বিদ্যুৎচমক B আগে ঘটেছিল। সুতরাং আমরা এই গুরুত্বপূর্ণ-ফল প্রাপ্ত হই :

বাঁধ সাপেক্ষ যে সমস্ত ঘটনা যুগপৎ, ট্রেন সাপেক্ষ সে সমস্ত ঘটনা যুগপৎ নয় এবং তদ্বিপরীত (vice versa) (যুগপত্তার আপেক্ষিকতা)। প্রতিটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের (স্থানাঙ্কতন্ত্র) নিজস্ব বিশেষ কাল রয়েছে। কোন নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ, একথা আমাদের বলা না হলে একটি ঘটনার সময় সম্পর্কীয় বিবৃতি অর্থহীন।

অপেক্ষবাদ আবির্ভাবের আগে পদার্থবিদ্যায় সব সময়েই নীরবে অনুমান করা হোত, সময় সম্পর্কীয় বিবৃতির পরম অর্থ (absolute significance) রয়েছে অর্থাৎ এর সঙ্গে নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের গতির অবস্থার কোন সম্পর্ক নেই। কিন্তু আমরা এখনি দেখেছি এই অনুমান যুগপত্তার সবচাইতে স্বাভাবিক সংজ্ঞার সঙ্গে মেলে না। আমরা যদি এই অনুমান পরিত্যাগ করি তা হলে 'শূন্য স্থানে' আলোক-বিস্তারের বিধি এবং আপেক্ষিকতার নীতির (অধ্যায় VII-এ বিকাশ প্রাপ্ত) ভিতরে

1 বাঁধ থেকে বিচার করলে।

দ্বন্দ্ব অন্তর্হিত হয়।

সে দ্বন্দ্বে আমাদের পথিকৃৎ ছিল পরিচ্ছেদ VI এর বিচার। সেগুলি আর এখন সমর্থন করা যায় না, সে পরিচ্ছেদে আমরা সিদ্ধান্ত করেছিলাম গাড়ির ভিতরের যে লোকটি গাড়ি সাপেক্ষ 'সেকেণ্ডে' w দূরত্ব অতিক্রম করছিল সে 'প্রতি সেকেণ্ড' কালে বাঁধ সাপেক্ষও একই দূরত্ব অতিক্রম করে। কিন্তু এর আগে আমরা যে বিচার করেছি সে অনুসারে গাড়ি সাপেক্ষ একটি বিশেষ ঘটনার জন্য প্রয়োজনীয় কাল এবং বাঁধ (নির্দেশ বস্তুপিণ্ডরূপে) থেকে বিচার করা একই ঘটনার কাল কখনোই অভিন্ন বিচার করা উচিত নয়। সুতরাং হাঁটবার সময় লোকটি যে কালে রেললাইন সাপেক্ষ w দূরত্ব অতিক্রম করবে বাঁধ থেকে বিচারে সে কাল এক সেকেন্ডের সমান এ তথ্য যুক্তিসহ (contended) হোতে পারে না।

তাছাড়া পরিচ্ছেদ VI-এর বিচারের ভিত্তি ছিল দ্বিতীয় আর একটি অনুমান। যথাযথ বিচারের আলোকে মনে হয় সে অনুমান যাদৃচ্ছিক (arbitrary)। কিন্তু অপেক্ষবাদ উপস্থাপনের আগেও সব সময়ই নীরবে এ অনুমান করা হয়েছে।

X

দূরত্ব সম্পর্কীয় ধারণার আপেক্ষিকতা সম্পর্কে

বাঁধ বরাবর v গতিবেগে চলমান ট্রেনের[1] দুটি বিন্দু বিষয়ে বিচার করা যাক এবং অনুসন্ধান করা যাক তাদের অন্তবর্তী দূরত্ব। আমরা আগে থাকতেই জানি দূরত্ব মাপতে হলে একটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ড প্রয়োজন। সেই বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ দূরত্ব মাপা সম্ভব। ট্রেনটিকে নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (স্থানাঙ্কতন্ত্র) রূপে গ্রহণ করা হবে সবচাইতে সরল পরিকল্পনা। ট্রেনের ভিতরকার একজন পর্যবেক্ষক ঋজু রেখায় (অর্থাৎ গাড়ির মেঝে বরাবর) তাঁর মাপনদণ্ড দিয়ে যতবার প্রয়োজন ততবার দুটি চিহ্নিত বিন্দুর একটি থেকে অন্যটি পর্যন্ত মেপে এই অন্তবর্তী দূরত্ব পরিমাপ করেন। তাহলে দণ্ডটা যতবার পাততে হয়েছিল সেই সংখ্যাই আমাদের কাছে প্রয়োজনীয় দূরত্ব প্রকাশ করে।

রেললাইন থেকে যখন দূরত্ব মাপতে হয় তখন ব্যাপারটা অন্যরকম। এ ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত পদ্ধতি স্বততঃ উত্থাপিত হয়। ট্রেনের উপরের যে দুটি বিন্দুর দূরত্ব প্রয়োজন তাদের নাম যদি আমরা A' ও B' দিই তা হলে এই বিন্দুগুলির দুটিই v গতিবেগে বাঁধ বরাবর চলমান। বাঁধ থেকে বিচার করলে একটি বিশেষ কাল t-তে A' ও B' বাঁধের দুটি বিন্দু A এবং B-কে যথাযথ অতিক্রম করছে (just being passed)। প্রথমত আমাদের প্রয়োজন A এবং B এই দুটি বিন্দু নির্ণয় করা। পরিচ্ছেদ VIII এ সময়ের যে সংজ্ঞা দেওয়া হয়েছে সেই সংজ্ঞা প্রয়োগ করে A এবং B এই দুটি বিন্দু নির্ধারণ করা যায়। তারপর এই দুটি বিন্দুর দূরত্ব মাপা হয় মাপনদণ্ডটি বাঁধ বরাবর বারম্বার প্রয়োগ করে।

---

1 প্রথম গাড়ির মধ্যস্থান এবং বিংশতম গাড়ির মধ্যস্থান।

অবরোহী যুক্তি অনুসারে (*a priori*)[1] আগের মাপন এবং এই মাপনের ফল যে একই হবে সে সম্পর্কে কোনো নিশ্চয়তা নেই। গাড়ির দৈর্ঘ্য যদি বাঁধ থেকে মাপা হয় এবং গাড়ীর উপর মাপা হয় তাহলে দুটি মাপনে পার্থক্য হতে পারে। পরিচ্ছেদ VI-এর আপাতদৃষ্ট স্বতঃপ্রতীয়মান বিবেচনার বিরুদ্ধে আমাদের দ্বিতীয় আপত্তির পথিকৃৎ এই পরিস্থিতি। অর্থাৎ ট্রেনের ভিতরের লোকটি যদি 'ট্রেন থেকে মাপা' এক একক কালে *w* দূরত্ব অতিক্রম করে তা হলে 'বাঁধ থেকে মাপা' হলে এই দূরত্ব যে *w*-এর সমান হবে তার কোনো নিশ্চয়তা নেই।

1. অধ্যাপক রাসবিহারী দাসের পরিভাষা, পূর্বতঃসিদ্ধ।

XI

লোরেঞ্জ রূপান্তর

(Lorentz Transformation)

আগের তিনটি অধ্যায়ের ফল থেকে দেখা যায় আলোক বিস্তারের বিধি এবং আপেক্ষিকতার নীতির (পরিচ্ছেদ VII) ভিতরে আপাতদৃষ্ট অসংগতি এমন একটি বিচার থেকে উদ্ভূত যে বিচার চিরায়ত বলবিদ্যা থেকে দুটি অযৌক্তিক প্রকল্প (hypothesis) ধার করেছে। সে দুটি প্রকল্প হোল :

(১) দুটি ঘটনার অন্তবর্তীকাল (কাল) নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের গতির অবস্থার সংগে সম্পর্কহীন।

(২) অনমনীয় (rigid) বস্তুপিণ্ডের দুটি বিন্দুর অন্তবর্তী স্থান (দূরত্ব) নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের গতির অবস্থার সংগে সম্পর্কহীন।

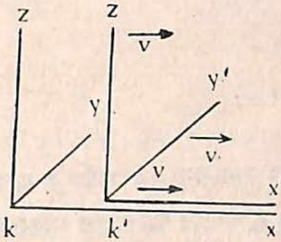
এই দুটি প্রকল্প যদি আমরা পরিত্যাগ করি তা হলে পরিচ্ছেদ VII-এর উভয় সংকট অদৃশ্য হয় কারণ অসিদ্ধ হয় পরিচ্ছেদ VI থেকে উপপাদিত গতিবেগ সমূহের যোগ বিষয়ক উপপাদ্য। 'শূন্যস্থানে' আলোক-বিস্তারের বিধির সংগে আপেক্ষিকতার নীতি সংগতিপূর্ণ হওয়ার সম্ভাবনা উপস্থিত হয় এবং উপস্থিত হয় এই প্রশ্ন : অভিজ্ঞতার এই দুটি মূলগত ফলশ্রুতির ভিতর আপাতদৃষ্ট দ্বন্দ্ব দূর করার জন্য পরিচ্ছেদ VI-এর বিচারগুলির পরিবর্তন আমাদের কিভাবে করতে হবে ? এই প্রশ্ন একটি সাধারণ প্রশ্নের পথিকৃৎ। পরিচ্ছেদ VI-এর আলোচনায় আমাদের ট্রেন এবং বাঁধ দুটি সাপেক্ষই স্থান এবং কাল নিয়ে কাজ করতে হয়েছে। রেলের বাঁধ সাপেক্ষ একটি ঘটনার স্থান এবং কাল জানা থাকলে ট্রেন সাপেক্ষ সেই ঘটনার স্থান এবং কাল কি করে নির্ণয় করবো ? এই প্রশ্নের এমন চরিত্রের কোনো চিন্তাযোগ্য উত্তর আছে কি যার ফলে 'শূন্যস্থানে' আলোক বিস্তারের বিধির সংগে আপেক্ষিকতার নীতির কোন দ্বন্দ্ব ঘটবে না ? অন্য কথায় : আমরা কি দুটি নির্দেশবস্তুপিণ্ড

সাপেক্ষই একক ঘটনাগুলির স্থান এবং কাল এমনভাবে কল্পনা করতে পারি যে প্রতিটি আলোক রশ্মিরই বাঁধ এবং ট্রেন সাপেক্ষ গতিবেগ c? এ প্রশ্ন বেশ নিশ্চিত অস্তিবাচক (definite positive) একটি উত্তরের পথিকৃৎ এবং পথিকৃৎ একটি নির্দেশবস্তুপিন্ড থেকে অন্য নির্দেশবস্তুপিন্ডে পরিবর্তনের সময় একটি ঘটনার স্থান কাল মাত্রার (magnitude) রূপান্তরের নির্ভুল নিশ্চিত বিধির।

এই ব্যাপার নিয়ে আলোচনার আগে আমরা নিম্নলিখিত প্রাসঙ্গিক বিবেচনা উপস্থিত করবো। এ পর্যন্ত আমরা শুধু বাঁধ বরাবর সংঘটিত ঘটনাগুলি বিচার করেছি। গণিতের দিক থেকে সেগুলিকে ঋজুরেখার ভূমিকা (function) গ্রহণ করতে হয়েছে। পরিচ্ছেদ II এ যে পদ্ধতির ইঙ্গিত দেয়া হয়েছে সেই ভাবে আমরা কল্পনা করতে পারি এই নির্দেশ বস্তুপিন্ডের পার্শ্বদিক এবং উল্লম্ব দিকে (vertical direction) দন্ড নির্মিত কাঠামো দিয়ে সম্পূরণ (supplemented) করা হয়েছে। তা হলে যে কোনো জায়গায় একটি ঘটনা ঘটলে কাঠামো সাপেক্ষ তার স্থান নির্দেশ করা সম্ভব। একই ভাবে আমি কল্পনা করতে পারি v গতিবেগে চলমান ট্রেনটি সম্পূর্ণ স্থান অতিক্রম করছে তা হলে যতদূরেই সংঘটিত হোক না কেন দ্বিতীয় কাঠামো সাপেক্ষ প্রতিটি ঘটনার স্থান নির্দেশ করা সম্ভব হবে। কঠিন বস্তুপিন্ড গুলি অচ্ছেদ্য হবার দরূণ বাস্তব ক্ষেত্রে এই কাঠামোগুলি অবিচ্ছিন্ন ভাবে পরস্পরের সঙ্গে ব্যতিচার (interfere) করবে। মূলগত কোন ভুল না করেতও এ তথ্য আমরা অগ্রাহ্য করতে পারি। এ রকম প্রতিটি কাঠামোতেই আমরা পরস্পরের সঙ্গে লম্ব সম্পর্কীয় তিনটি তল কল্পনা করি। তলগুলি স্পষ্টভাবে চিহ্নিত এবং সেগুলির নাম "স্থানাঙ্ক তল সমষ্টি" (coordinates planes)" (*coordinate system*) ...স্থানাঙ্কতন্ত্র'। একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র K তা হলে বাঁধের অনুরূপ এবং অন্য স্থানাঙ্কতন্ত্র K' ট্রেনের অনুরূপ। একটি ঘটনার ঘটনাস্থল যেখানেই হোক না কেন স্থানাঙ্ক তল গুলির উপর তিনটি লম্ব $x, y, z,$ দিয়ে স্থানে K সাপেক্ষ সে ঘটনাস্থল নির্দেশ করা যাবে, এবং সময় নির্দেশ করা যাবে সময়ের মূল্য সূচক t দিয়ে। K' সাপেক্ষ একই ঘটনা স্থান এবং কাল সাপেক্ষ অনুরূপ মূল্যসূচক x', y', z' এবং t' এর সাহায্যে নির্দেশ করা যাবে। এগুলি নিশ্চয়ই x, y, z এবং t থেকে অভিন্ন হবে না। মাত্রাগুলিকে কি ভাবে ভৌত মাপনের ফলশ্রুতি রূপে বিচার করতে হবে সে বিবরণ আগেই বিস্তৃত ভাবে দেয়া হয়েছে।

এ তথ্য স্পষ্ট প্রতীয়মান যে আমাদের সমস্যার অবয়ব নিম্নলিখিত উপায়ে

নিভু'লভাবে গঠন করা সম্ভব। এখন K' সাপেক্ষ একটি ঘটনার মূল্যাংক x, y, z এবং t দেয়া থাকলে K' সাপেক্ষ একই ঘটনার মূল্যাঙ্ক x', y', z', t', কি হবে ? সম্পর্ক'টা এমনভাবে নির্বাচন করতে হবে যার ফলে K এবং K' সাপেক্ষ একটি এবং সেই একটি আলোকরশ্মির এবং (অবশ্যই প্রতিটি রশ্মি) শূন্যস্থানে আলোক বিস্তারের



চিত্র ২

বিধি পালিত হয়। চিত্রে নির্দে'শিত (চিত্র ২) স্থানাংক তন্ত্রগুলির স্থানে আপেক্ষিক দিগ্‌বিন্যাস সাপেক্ষ এই সমস্যার সমাধান করা হয় নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে :

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

এই সমীকরণতন্ত্র "লোরেঞ্জ রূপান্তর" নামে পরিচিত।[1]

আমরা যদি আলোক বিস্তারের বিধির বদলে কাল এবং দৈর্ঘ্যের চরিত্র পরম

1 পরিশিষ্ট I-এ লোরেঞ্জ রূপান্তরের একটি সরল উপপাদন দেওয়া হয়েছে।

(absolute) : প্রাচীনতর বলবিদ্যার এই নীরব অনুমানকে আমাদের ভিত্তিরূপে গ্রহণ করতাম তা হলে উপরের সমীকরণের বদলে আমরা নিম্নলিখিত সমীকরণ পেতাম :

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

এই সমীকরণতন্ত্রকে অনেক সময় বলা হয় "গ্যালিলি রূপান্তর" (Galilei transformation)। লোরেঞ্জ রূপান্তরে আলোকের গতিবেগ c এর স্থলে অসীম বৃহৎ (infinitely large) মূল্য সূচক প্রতিস্থাপন করলে আমরা গ্যালিলি রূপান্তর পাই।

নিম্নলিখিত উদাহরণের সাহায্যে আমরা দ্রুত বুঝতে পারি লোরেঞ্জ রূপান্তর অনুসারে শূন্য স্থানে আলোক বিস্তারের বিধি K এবং K' দুটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষই পালিত হচ্ছে। পরা অক্ষ (Positive X-axis) x বরাবর একটি আলোক সংকেত প্রেরণ করা হোল এবং এই আলোক উত্তেজনা (light stimulus) নিম্নলিখিত সমীকরণ অনুসারে অগ্রসরমান :

$$x = ct$$

অর্থাৎ c গতিবেগে। লোরেঞ্জ রূপান্তরের সমীকরণগুলি অনুসারে x এবং t-এর এই সরল সম্পর্কের সঙ্গে x' এবং t'-এর সম্পর্ক জড়িত। আসলে লোরেঞ্জ রূপান্তরের প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণে যদি x-এর বদলে তার মূল্য ct প্রতিস্থাপন করি তা হলে আমরা পাই :

$$x' = \frac{(c-v)t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t' = \frac{\left(1 - \frac{v}{c}\right)t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

এর থেকে বিভাজনের সাহায্যে

$$x' = ct'$$

এই ফল তৎক্ষণাৎ প্রকাশ পায়। K' তন্ত্র সাপেক্ষ হলে আলোকের বিস্তার ঘটে এই সমীকরণ অনুসারে। সুতরাং আমরা দেখতে পাই নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K' সাপেক্ষও আলোক বিস্তারের গতিবেগ c। আলোক রশ্মি যে কোনো অভিমুখে বিস্তারের ক্ষেত্রেও একই ফল পাওয়া যায়। অবশ্য এতে আশ্চর্যের কিছু নেই কারণ লোরেঞ্জ রূপান্তরের সমীকরণগুলি আহরণ করা হয়েছিল এই দৃষ্টি ভঙ্গির সঙ্গে সঙ্গতি রক্ষা করেই।

XII
চলমান ঘড়ি এবং মাপনদণ্ডের আচরণ

আমি K' এর x' অক্ষে একটি মিটার দণ্ড (metre rod) এমনভাবে স্থাপন করেছি যে, তার একটা প্রান্তের (প্রারম্ভিক) $x'=0$ বিন্দুর সঙ্গে সমাপতন হয়েছে এবং অন্য প্রান্তের (দণ্ডের অন্তিম বিন্দু) সমাপতন হয়েছে $x'=1$ বিন্দুর সঙ্গে। K-তন্ত্র সাপেক্ষ মিটার দণ্ডের দৈর্ঘ্য কত হবে ? এটা জানতে হলে আমাদের একমাত্র প্রশ্ন : K তন্ত্রের একটি বিশেষ কাল t-তে K সাপেক্ষ দণ্ডটির প্রারম্ভ এবং অন্ত কোথায় অবস্থিত। লোরেঞ্জ রূপান্তরের প্রথম সমীকরণের সাহায্যে দেখানো যেতে পারে $t=0$ কালে এই দুটি বিন্দুর মূল্যাঙ্ক হবে

$$x\ (\text{দণ্ডের প্রারম্ভ}) = 0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$x\ (\text{দণ্ডের অন্ত}) = 1\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

বিন্দু দুটির দূরত্ব হবে $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ । কিন্তু মিটার দণ্ডটি K সাপেক্ষ v গতিবেগে চলমান। সুতরাং এ থেকে উপপাদিত হয় v গতিবেগে নিজস্ব দৈর্ঘ্যের অভিমুখে চলমান অনমনীয় মিটার দণ্ডের দৈর্ঘ্য হবে এক মিটারের

$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ অংশ। সুতরাং অনমনীয় দণ্ড স্থির অবস্থার তুলনায় চলমান অবস্থায় হ্রস্বতর এবং চলন যত দ্রুত হবে দৈর্ঘ্যও তত হ্রাস পাবে। গতিবেগ $v=c$ হলে আমরা পাব $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}=0$ এবং গতিবেগ c-র চাইতে বৃহত্তর হলে বর্গমূল হয় কাল্পনিক। এ থেকে আমাদের সিদ্ধান্ত : অপেক্ষবাদে c গতিবেগ, গতিবেগের সীমার ভূমিকা পালন করে। কোন বাস্তব বস্তুপিণ্ড এ গতিবেগে পৌঁছুতে পারে না, এ গতিবেগ অতিক্রমও করতে পারে না।

গতিবেগ c গতিবেগের সীমা। গতিবেগ c-এর এই অবয়ব অবশ্য লোরেঞ্জ রূপান্তরের সমীকরণগুলির স্পষ্ট ফলশ্রুতি, আমরা যদি v এর মূল্যাংক c এর চাইতে বেশী নির্বাচন করি তা হলে এই সমীকরণগুলি হয় অর্থহীন।

উল্টো দিকে যদি আমরা এ কটামিটার দণ্ডকে K সাপেক্ষ x অক্ষে স্থিরাবস্থায় বিচার করতাম তা হলে আমরা পেতাম K' থেকে বিচারে দণ্ডটির দৈর্ঘ্য $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ এ তথ্যের আপেক্ষিক নীতির সংগে পূর্ণ সংগতি রয়েছে এবং এই নীতিই আমাদের বিচারের ভিত্তি।

অবরোহী (*a priori*) যুক্তি অনুসারে এ তথ্য বেশ স্পষ্ট যে রূপান্তরের সমীকরণগুলি থেকে মাপনদণ্ড এবং ঘড়ির ভৌত আচরণ সম্পর্কে নিশ্চয়ই কিছু জানতে পারবো কারণ x, y, z এবং t এই মাত্রা গুলি ঘড়ি এবং মাপনী দণ্ডের সাহায্যে প্রাপ্তব্য মাপন ফলের চাইতে বেশী কিংবা কম কিছু নয়। আমাদের বিচারের ভিত্তি যদি গ্যালিলীয় রূপান্তর হতো তা হলে চলনের ফলে দণ্ডের সঙ্কোচন আমরা পেতাম না।

এবার K' এর প্রারম্ভে (origin) $(x'=0)$ স্থায়ী ভাবে অবস্থিত একটি সেকেণ্ড ঘড়ি বিচার করা যাক। $t'=0$ এবং $t'=1$ ঘড়িটির পর পর দুটি টিক টিক। লোরেঞ্জ রূপান্তর অনুসারে এই দুটি টিকটিক সাপেক্ষ প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় :

$$t=0$$

এবং

$$t=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

K থেকে বিচার করলে ঘড়িটি v গতিবেগে চলমান। এই নির্দেশ বস্তুপিণ্ড থেকে বিচার করলে ঘড়িটির দুটি টিকটিকের মধ্যবর্তী সময় এক সেকেণ্ড নয় সেটা হবে $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ সেকেণ্ড অর্থাৎ একটু বেশী সময়। গতির ফলে স্থির অবস্থার তুলনায় ঘড়িটি একটু ধীরে চলমান। এখানেও গতিবেগ c গতিবেগের সীমার ভূমিকা পালন করে। সে সীমায় পেঁছানো সম্ভব নয়।

XIII

একাধিক গতিবেগের যোগ সম্পর্কীয় উপপাদ্য ফিজোর (FIZEAU) পরীক্ষা

এখন, কার্যক্ষেত্রে ঘড়ি এবং মাপনদণ্ডকে আমরা যে গতি দান করতে পারি আলোর গতিবেগের তুলনায় সে গতি সামান্য। সুতরাং পূর্ব অংশের ফলগুলির সঙ্গে বাস্তবের প্রত্যক্ষ তুলনা করতে পারার সম্ভাবনা কম। কিন্তু অন্য দিক দিয়ে এই ফলগুলি নিশ্চয়ই আপনাদের অনন্যসাধারণ মনে হবে। সেই জন্য এখন আমি এই তত্ত্ব থেকে অন্য একটি সিদ্ধান্ত উপপাদন করবো। পূর্বের বিচার থেকে সহজেই সে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা সম্ভব। সে সিদ্ধান্তের সত্যতা পরীক্ষার সাহায্যে খুব ভাল-ভাবেই প্রমাণিত হয়েছে।

পরিচ্ছেদ VI এ আমরা একই অভিমুখে একাধিক গতিবেগের যোগ সম্পর্কে উপপাদ্য আহরণ করেছি। সে উপপাদ্যের অবয়ব এমন যে চিরায়ত বলবিদ্যার প্রকল্প থেকেও সে ফল আহরণ করা যেত। এই উপপাদ্য গ্যালিলীয় রূপান্তর (পরিচ্ছেদ XI) থেকে অবরোহী পদ্ধতিতে সহজেই পাওয়া যায়। গাড়ির ভিতরে চলমান লোকটির বদলে

$$x' = wt'$$

এই সমীকরণের সঙ্গে সঙ্গতি রক্ষা করে স্থানাঙ্কতন্ত্র K' সাপেক্ষ চলমান একটি বিন্দু উপস্থাপন করছি।

গ্যালিলীয় রূপান্তরের প্রথম ও চতুর্থ সমীকরণের সাহায্যে আমরা x' এবং t' কে x এবং t-এর বাগ্বিধিতে (in terms of x and t) প্রকাশ করতে পারি এবং তা হলে আমরা পাই :

$$x = (v + w)\, t.$$

এই সমীকরণ K তন্ত্র সাপেক্ষ বিন্দুটির (বাঁধ সাপেক্ষ মানুষটির) গতির বিধি ছাড়া অন্য কিছুই প্রকাশ করে না। এই গতিবেগকে আমরা W এই সংকেত দিয়ে প্রকাশ করি এবং তা হলে পরিচ্ছেদ VI এর মত আমরা পাই :

$$W = v + w \cdots\cdots (A)$$

কিন্তু এ বিচার আমরা অপেক্ষবাদের ভিত্তিতেও একই প্রকার উত্তম রূপে করতে পারি।

$$x' = wt'$$

এই সমীকরণে তা হলে আমাদের x' এবং t' কে x এবং t এর বাগ্বিধিতে প্রকাশ করতে হবে। এটা করতে হবে লোরেঞ্জ রূপান্তরের প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণ ব্যবহার করে। তা হলে আমরা সমীকরণ (A) এর বদলে পাই এই সমীকরণ

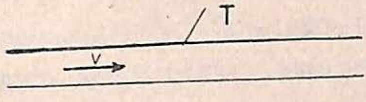
$$W = \frac{v + w}{1 + \frac{vw}{c^2}} \cdots\cdots (B)$$

এই সমীকরণ অপেক্ষবাদ অনুসারী একই অভিমুখে একাধিক গতিবেগের যোগ সম্পর্কীয় উপপাদ্যের অনুরূপ। এখন প্রশ্ন : এই দুটি উপপাদ্যের ভিতরে অভিজ্ঞতার সঙ্গে সঙ্গতি কোনটির বেশী ? অর্ধ শতাব্দীরও বেশী আগে প্রতিভাশালী পদার্থবিদ ফিজোকৃত (Fizeau) সবচাইতে গুরুত্বপূর্ণ একটি পরীক্ষা এই প্রসঙ্গের উপর আলোকপাত করেছে। সর্বোৎকৃষ্ট পরীক্ষামূলক পদার্থবিজ্ঞানীদের কয়েকজন ফিজোর পরে এই পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করেছেন। সুতরাং এই পরীক্ষার ফল সম্পর্কে সন্দেহের কোন অবকাশ নেই। নিম্নলিখিত প্রশ্ন এই পরীক্ষার বিচার্য বিষয়। গতিহীন তরল পদার্থের ভিতর দিয়ে আলোক একটি বিশিষ্ট গতিবেগ w-তে বিচরণ করে। প্রাগুক্ত তরল পদার্থ যখন নালিকার ভিতর দিয়ে v গতিবেগে বহমান তখন নালিকা T তে (সহগামী নক্শা দেখুন) তীর অভিমুখে আলোক কত দ্রুত গমন করবে ?

তরল পদার্থ সপেক্ষ (with respect to the liquid) আলোক সব সময় একই গতিবেগ w তে বিস্তার লাভ করে : আপেক্ষিক নীতি অনুসারে এ তথ্য

আমাদের মেনে নিতেই হবে। তরল পদার্থটি অন্যবস্তুপিন্ড সাপেক্ষ গতিশীল কিনা তাতে কিছু এসে যায় না। তরল পদার্থ সাপেক্ষ আলোকের গতিবেগ এবং নালিকা সাপেক্ষ তরল পদার্থের গতিবেগ এ দুটোই তাহলে জানা। আমাদের প্রয়োজন নালিকা সাপেক্ষ আলোকের গতিবেগ।

স্পষ্টই আমাদের সামনে পরিচ্ছেদ VI এর সমস্যা আবার উপস্থিত। নালিকাটি স্থানাংকতন্ত্র K কিম্বা রেলের বাঁধের ভূমিকা পালন করে। তরল পদার্থ পালন করে গাড়ি কিম্বা স্থানাংকতন্ত্র K' এর ভূমিকা এবং সর্বশেষে আলোক পালন করে গাড়িতে চলমান মানুষটি কিম্বা এই পরিচ্ছেদের চলমান বিন্দুর ভূমিকা।



চিত্র ৩

আমরা যদি নালিকা সাপেক্ষ আলাকের গতিবেগকে W দিয়ে চিহ্নিত করি তা হলে সেটা আমরা পাব সমীকরণ (A) কিংবা সমীকরণ (B)থেকে। গ্যালিলীয় রূপান্তর না লোরেঞ্জ রূপান্তর কোনটি ঘটনার অনুরূপ তার উপর নির্ভর করবে W আমরা সমীকরণ (A) থেকে পাব না সমীকরণ (B) থেকে পাব। বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা[1] অপেক্ষবাদ থেকে উপপাদিত সমীকরণ (B)-এর সপক্ষে রায় দেয় এবং এ মতৈক্য সত্যই অতীব নিভু'ল। যীম্যান কৃত (Zeeman) আধুনিক এবং সর্বোত্তম মাপন অনুসারে আলোক বিস্তারের উপর স্রোতের গতিবেগ v-এর প্রভাবের প্রতিরূপ হোল সংকেত

---

1 যেখানে তরল পদার্থের প্রতিসরাংক (index of refraction) $n=\frac{c}{w}$ সেখানে ফিজো পেয়েছিলেন : $W=w+v\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$ অন্য দিকে 1 এর তুলনায় $\frac{vw}{c^2}$ এর ক্ষুদ্রতার দরুন আমরা (B) এর স্থলে প্রথমত প্রতিস্থাপন করতে পারি $W=(w+v)\left(1-\frac{vw}{c^2}\right)$ কিম্বা প্রতিস্থাপন করতে পারি $w+v\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$। শেষোক্ত রাশির আসন্নতা একই পর্যায়ের (same order of approximation) -এর সংগে ফিজোর পরীক্ষার ফলের ঐক্য রয়েছে।

(Formula) (B) এবং এ প্রতিরূপতত্ব শতকরা একভাগের ভিতরে।

তবুও এ তথ্যের প্রতি এখন আমাদের দৃষ্টি আকর্ষণ করতে হবে যে অপেক্ষবাদ বিবৃত হবার অনেক আগে এইচ. এ. লোরেঞ্জ এই পরিঘটনা সম্পর্কে একটি তত্ত্ব দান করেছিলেন। এ তত্ত্বের চরিত্র ছিল শুদ্ধ বৈদ্যুত গতিকী (of elctrodynamical nature) এবং এ তত্ত্ব পাওয়া গিয়েছিল পদার্থের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় গঠন সম্পর্কে একটি বিশেষ প্রকল্প ব্যবহারের সাহায্যে। এই পরিস্থিতি কিন্তু অপেক্ষবাদের সপক্ষে বিনিশ্চায়ক পরীক্ষা হিসাবে এই পরীক্ষালব্ধ চূড়ান্ত রায়ের মূল্য কিছুমাত্র ক্ষুণ্ণ করে না। কারণ ম্যাক্সওয়েল লোরেঞ্জের যে বৈদ্যুৎগতিকী বিদ্যার উপরে প্রারম্ভিক (original) তত্ত্বের ভিত্তি ছিল সেই বৈদ্যুৎগতিকীবিদ্যা কোন ক্রমেই অপেক্ষবাদের বিরুদ্ধতা করে না। অপেক্ষবাদ বরং বিকাশ লাভ করেছে ম্যাক্সওয়েল লোরেঞ্জের বৈদ্যুৎগতিকী (electrodynamic) বিদ্যা থেকে প্রকল্পটির বিস্ময়কর সরল সংযোগ আর সাধারণীকরণের সাহায্যে। এর উপর বিদ্যুৎ গতিকীতত্ত্ব তৈরী হয়েছিল এবং আগেছিল তারা পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন।

XIV

আবিষ্কার এবং অনুসন্ধানের (HEURISTIC) ক্ষেত্রে অপেক্ষবাদের গুরুত্ব

আগের পৃষ্ঠাগুলিতে লেখা আমাদের চিন্তাধারার সংক্ষিপ্তসার নিম্নলিখিতরূপে করা সম্ভব। একদিকে আপেক্ষিকতার নীতি সত্য ; অন্যদিকে 'শূন্যস্থানে' আলোকের গতিবেগকে একটি ধ্রুবক c-এর সমানরূপে বিচার করতে হবে : অভিজ্ঞতা এদুটি বিশ্বাসের পথিকৃৎ। এদুটি স্বীকার্যের সমন্বয় করে আমরা পেয়েছিলাম : যে ঘটনাগুলি দিয়ে প্রকৃতির কর্মপদ্ধতি গঠিত সেগুলির আয়তাকার (rectangular) স্থানাংক x, y, z এবং কাল t-এর রূপান্তর বিধি। এই প্রসঙ্গে আমরা গ্যালিলিও রূপান্তর পাইনি, পেয়েছি চিরায়ত বলবিদ্যা থেকে পৃথক 'লোরেঞ্জ রূপান্তর'।

আলোক বিস্তারের বিধি মেনে নেওয়ার যৌক্তিকতা আমাদের বাস্তবজ্ঞান। সে বিধি এ চিন্তাপদ্ধতিতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করেছে। লোরেঞ্জ রূপান্তর একবার অধিকৃত হলে কিন্তু আমরা তাকে আপেক্ষিক নীতির সংগে সংযুক্ত করতে পারি এবং তত্ত্বের সংক্ষিপ্তসার করতে পারি এইভাবে :

প্রকৃতি সম্পর্কীয় প্রতিটি সাধারণ বিধি এমনভাবে গঠন করতে হবে যে, প্রারম্ভিক স্থানাংকতন্ত্র K-এর স্থানকাল পরিবর্তী (variable) x, y, z, t-এর বদলে যখন আমরা একটি স্থানাংকতন্ত্র K' এর নূতন স্থানকাল পরিবর্তী x', y', z', t' উপস্থাপন করি তখন সে বিধি একই অবয়বের বিধিতে রূপান্তরিত হবে। এ ব্যাপারে সাধারণ এবং তীব্রতর (accented) পরিমাণগুলির সম্পর্ক প্রকাশ করে লোরেঞ্জ রূপান্তর। কিংবা সংক্ষেপে : প্রকৃতির সাধারণ বিধিগুলি লোরেঞ্জ রূপান্তর সাপেক্ষ সহ-পরিবর্তী (co-variant)।

একটি প্রাকৃতিক বিধির কাছে অপেক্ষবাদের দাবী এই সুনিশ্চিত গাণিতিক সর্ত। এবং এই জন্যই প্রকৃতির সাধারণ বিধিগুলি অনুসন্ধানের জন্য অপেক্ষবাদ

হয়ে ওঠে আবিষ্কারের একটি গুরুত্বপূর্ণ সহায়। যদি প্রকৃতির এমন কোন সাধারণ বিধি পাওয়া যেতো যে বিধিতে এ সর্ত পালিত হয় নি তা হলে অপেক্ষবাদের মূলগত দুটি অনুমানের অন্তত একটি অপ্রমাণিত হোত। এবার পরীক্ষা করে দেখা যাক এ পর্যন্ত এ তত্ত্ব কি কি সাধারণ ফল নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেছে।

XV

তত্ত্বের সাধারণ ফল

আমাদের আগেকার আলোচনা থেকে এ কথা স্পষ্ট যে (বিশিষ্ট) অপেক্ষাবাদ বিকাশ লাভ করেছে বৈদ্যুৎগতিকী (electrodynamics) বিজ্ঞান এবং আলোক বিজ্ঞান (optics) থেকে। এ সব ক্ষেত্রে এ তত্ত্ব, তত্ত্বের ভবিষ্যৎবাণীর বিশেষ পরিবর্তন করে নি কিন্তু তাত্ত্বিক অবয়ব অর্থাৎ বিধিগুলির আহরণ (derivation) অনেক সরল করেছে এবং তত্ত্বের ভিত্তি গঠনকারী অন্যনিরপেক্ষ (independent) প্রকল্পের সংখ্যা কমিয়ে দিয়েছে। এ ফলের গুরুত্ব অতুলনীয়। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ ম্যাক্সওয়েল-লোরেঞ্জ তত্ত্বকে এমন বিশ্বাসযোগ্য করেছে যে এ তত্ত্বের সপক্ষে বৈজ্ঞানিক পরীক্ষার রায় যদি আরো কম নিশ্চিত হোত তা হলেও পদার্থবিদরা সাধারণভাবে এ তত্ত্ব মেনে নিতেন।

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের দাবীর সঙ্গে খাপ খাওয়াবার উপযুক্ত হওয়ার আগে চিরায়ত বলবিদ্যার পরিবর্তনের প্রয়োজন ছিল। এই পরিবর্তনের প্রভাব বিস্তৃত হোত প্রধানত শুধুমাত্র দ্রুতগতি সম্পর্কিত বিধির ক্ষেত্রে অর্থাৎ যে সমস্ত ক্ষেত্রে আলোকের গতিবেগের তুলনায় পদার্থের গতিবেগ v খুব কম নয়। এ রকম দ্রুত-গতির অভিজ্ঞতা আমাদের রয়েছে শুধু ইলেকট্রন (electron) এবং আয়নের (ion) ক্ষেত্রে। অন্যান্য গতিগুলির ক্ষেত্রে চিরায়ত বলবিদ্যার বিধি থেকে বিচ্যুতি এত কম যে কার্যক্ষেত্রে তা প্রকাশ পায় না ; ব্যাপক অপেক্ষবাদ সম্পর্কে না বলা পর্যন্ত আমরা তারকাগুলির গতি বিচার করবো না। অপেক্ষবাদ অনুসারে m ভরের একটি পদার্থবিন্দুর গতীয়শক্তি সুপরিচিত সংকেত

$$m\frac{v^2}{2}$$

দিয়ে আর প্রকাশিত হয় না ; প্রকাশিত হয়

$$\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

অভিব্যক্তির (expression) সাহায্যে। গতিবেগ v যত আলোকের গতিবেগ c-এর নিকটবর্তী হবে এ অভিব্যক্তি ততই নিকটবর্তী হবে অসীমের। সুতরাং ত্বরণ সৃষ্টির জন্য ব্যবহৃত শক্তিসমূহ যতই বেশী হোক না কেন গতিবেগকে অবশ্যই সব সময় c-এর চাইতে কম থাকতে হবে। আমরা যদি গতীয় শক্তির সংকেতের অবয়বকে একটি মালা (series) হিসাবে বিকশিত করি তা হলে আমরা পাই

$$mc^2 + m\frac{v^2}{2} + \frac{3}{8}m\,\frac{v^4}{c^2} + \cdots\cdots$$

যখন $\frac{v^2}{c^2}$ একের তুলনায় কম এই পদগুলির তৃতীয়টি তখন সব সময়ই দ্বিতীয়টির তুলনায় কম। চিরায়ত বলবিদ্যায় শুধুমাত্র এই শেষেরটিই বিচার করা হয়েছে। প্রথম পদ mc^2-এ গতিবেগ নেই এবং আমরা যদি বিন্দুভরের (point mass) শক্তি কি করে তার গতিবেগের উপর নির্ভর করে শুধুমাত্র সেই প্রশ্ন নিয়ে আলোচনা করি, তা হলে প্রথম পদ নিয়ে বিচারের কোনো প্রয়োজন নেই। এর গুরুত্বের সারাংশ নিয়ে পরে আমরা আলোচনা করবো।

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ যে সমস্ত সাধারণ চরিত্রের ফলের পৃথিকৃৎ তার ভিতরে সব চাইতে গুরুত্বপূর্ণ ফল ভর সম্পর্কীয় কল্পন সংশ্লিষ্ট। অপেক্ষবাদের আবির্ভাবের পূর্বে পদার্থবিদ্যা মূলগত গুরুত্বপূর্ণ দুটি নিত্যতা বিধি (conservation law) স্বীকার করতো : শক্তির নিত্যতা বিধি এবং ভরের নিত্যতা বিধি। মনে হতো এই দুটি মৌলিক বিধি সম্পূর্ণ পরস্পর নিরপেক্ষ (independent of each other)। অপেক্ষবাদের সাহায্যে তারা একটি বিধিতে ঐক্যবদ্ধ হয়েছে। এখন আমরা সংক্ষেপে বিচার করবো কি করে এ মিলন হোলো এবং এর উপরে কি অর্থ আরোপ করা হবে।

অপেক্ষবাদ নীতির দাবী : শক্তির নিত্যতা বিধি শুধুমাত্র একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র K সাপেক্ষসত্য তাই নয়, এ বিধি সত্য K সাপেক্ষ সমরূপ স্থানান্তরণগতিসম্পন্ন প্রতিটি

নির্দেশকতন্ত্র K' সাপেক্ষও। কিংবা সংক্ষেপে প্রতিটি "গ্যালিলিও" স্থানাঙ্কতন্ত্র সাপেক্ষ। চিরায়ত বলবিদ্যার সঙ্গে বৈসাদৃশ্য : একটি তন্ত্র থেকে এই তন্ত্রে অন্য রকম রূপান্তরে লোরেঞ্জ রূপান্তরই মীমাংসক উপাদান (deciding factor)।

এই সমস্ত সূত্র (premises) থেকে ম্যাক্সওয়েলের বৈদ্যুৎগতিকী (electro-dynamic) বিদ্যার মূলগত সমীকরণগুলির সংযোগে কয়েকটি অপেক্ষাকৃত সরল বিচারের সাহায্যে আমরা নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তের নির্দেশ পাই : v গতিবেগে চলমান যে বস্তুপিণ্ড বিকিরণরূপে E_0 পরিমাণ শক্তি বিশোষণ[1] করে (absorb) অথচ এই প্রক্রিয়ায় যার গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না, ফলশ্রুতি হিসাবে তার শক্তি নিম্নলিখিত পরিমাণে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয় :

$$\frac{E_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

বস্তুপিণ্ডটির গতীয় শক্তি বিষয়ে উপরে উল্লিখিত অভিব্যক্তির পরিপ্রেক্ষিতে আবশ্যক বস্তুপিণ্ডটির শক্তি নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ পায় :

$$\frac{\left(m+\frac{E_0}{c^2}\right)c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

সুতরাং v গতিবেগে চলমান $\left(m+\frac{E_0}{c^2}\right)$ ভর সম্পন্ন বস্তুপিণ্ডের সমপরিমাণ শক্তি বস্তুপিণ্ডটিতে রয়েছে। অতএব আমরা বলতে পারি : যদি একটি বস্তুপিণ্ড E_0

---

1 বিশোষিত শক্তির পরিমাণ E_0, অবশ্য যদি বস্তুপিণ্ডটির সঙ্গে চলমান একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র থেকে বিচার করা হয়।

পরিমাণ শক্তি আত্মসাৎ করে (takes up) তা হলে তার জড়ত্বীয় ভর $\frac{E_0}{c_0}$ পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। একটি বস্তুপিণ্ডের জড়ত্বীয় ভর অচর (constant) নয়। সে ভর বস্তুপিণ্ডের শক্তির পরিবর্তনের সঙ্গে পরিবর্তী (varies)। এমন কি বস্তু-পিণ্ডতন্ত্রের জড়ত্বীয় ভরকে তার শক্তির মাপ হিসাবে বিচার করা যেতে পারে। একটি তন্ত্রের ভরের অবিনশ্বরতা বিধি এবং শক্তির অবিনশ্বরতা বিধি অভিন্ন হয়ে যায়, এবং সে তন্ত্র যদি কোন শক্তি গ্রহণ কিম্বা প্রেরণ না করে তা হলেই এ তথ্য সত্য। শক্তি সম্পর্কীয় অভিব্যক্তির অবয়ব নিম্নরূপে লেখা হলে

$$\frac{mc^2 + E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

আমরা দেখতে পাই, যে mc^2 পদ এতক্ষণ আমাদের দৃষ্টি আকর্ষণ করেছে সেটা E_0 পরিমাণ শক্তি বিশোষণের আগে পর্যন্ত বস্তুপিণ্ডের[1] অধিকারে যে শক্তি ছিল তাছাড়া আর কিছু নয়।

পরীক্ষালব্ধ ফলের সঙ্গে এই সম্পর্কের প্রত্যক্ষ তুলনা বর্তমান সময়ে সম্ভব নয় (1920, পৃ 45-এর পাদটীকা দেখুন।) কারণ একটি তন্ত্রের শক্তি E_0কে আমরা যে পরিমাণে পরিবর্তিত করতে পারি, সেটা তন্ত্রের জড়ত্বভিত্তিক ভরের পরিবর্তন রূপে বোধগম্য হবার মতো বৃহৎ নয়। শক্তির পরিবর্তনের আগে যা ছিল সেই ভর m-এর তুলনায় $\frac{E_0}{c^2}$ অত্যধিক অল্প। এই পরিস্থিতির জন্যই চিরায়ত বলবিদ্যা ভরের অবিনশ্বরতাকে একটি অন্যনিরপেক্ষ সত্যতা সম্পন্ন বিধিরূপে সাফল্যের সঙ্গে প্রতিষ্ঠা করতে গিয়েছিল।

মৌলিক চরিত্রের একটি শেষ মন্তব্য যোগ করা যাক। দূরস্থিত বিদ্যুৎচুম্বকীয় ক্রিয়ার ফ্যারাডে ম্যাক্সওয়েলীয় ব্যাখ্যার সাফল্যের ফলে পদার্থবিদরা বিশ্বাস করতে লাগলেন যে নিউটনের মহাকর্ষ বিধির অনুরূপ দূরস্থিত (মধ্যবর্তী একটি মাধ্যমকে বিজড়িত না করে) তাৎক্ষণিক ক্রিয়ার কোনো অস্তিত্ব নেই। অপেক্ষবাদ অনুসারে দূরস্থিত তাৎক্ষণিক ক্রিয়া কিম্বা প্রেরণের অসীম গতিবেগ সম্পন্ন দূরস্থিত ক্রিয়ার

---

1 বস্তুপিণ্ডের সঙ্গে চলমান স্থানাঙ্কতন্ত্র থেকে বিচার করা হলে।

স্থানে সব সময়েই আলোকের গতিবেগে দূরস্থিত ক্রিয়া প্রতিস্থাপিত হয়। এর সঙ্গে জড়িত রয়েছে এই তথ্য : গতিবেগ c এই তত্ত্বে একটি মূল ভূমিকা পালন করে। দ্বিতীয় খণ্ডে আমরা দেখতে পাব সাধারণ অপেক্ষবাদে এই ফল কিভাবে পরিবর্তিত হয়।

টীকা : নিউক্লীয় রূপান্তর মৌলিক পদার্থগুলির প্রতি α কণা (α particle) প্রোটন (proton), ডিউটেরন নিউট্রন কিম্বা γ রশ্মি বর্ষণের (bombardment) ফলশ্রুতি। এই রূপান্তরের আবির্ভাবের ফলে $E=mc^2$ সম্পর্ক দ্বারা প্রকাশিত ভর এবং শক্তির তুল্যতা বিস্তৃত-ভাবে প্রমাণিত হয়েছে। পরস্পর ক্রিয়াশীল ভর সমষ্টি এবং বর্ষিত কণার (কিম্বা ফোটন) গতীয় শক্তির তুল্য ভরের যোগ ফল সর্বসময়েই ক্রিয়া প্রসূত ভরের যোগফলের চাইতে বেশী। এই পার্থক্য হোল সৃষ্ট কণাগুলির গতীয় শক্তি কিম্বা মুক্ত বিদ্যুৎ চুম্বকীয় শক্তির (γ-photons) তুল্য ভর। একই ভাবে একটি স্বতঃ বিশরণশীল (spontaneously disintegrating) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভর ক্রিয়াপ্রসূত পরমাণুগুলির ভরের যোগ ফলের চাইতে বেশী। এই পার্থক্য জনিত কণাগুলির (কিম্বা ফোটনীয় শক্তির) গতীয় শক্তির তুল্য ভরের সমান। কেন্দ্রকীয় বিক্রিয়ার ফলে বিকিরিত রশ্মির শক্তির মাপনের সঙ্গে এইরূপ বিক্রিয়ার সমীকরণের সংযোগের সাহায্যে উচ্চমানের নির্ভুলতা সম্পন্ন পারমাণবিক ওজন নির্ধারণ করা সম্ভব।

আর ডব্লু লসন।

XVI

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ এবং অভিজ্ঞতা

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ অভিজ্ঞতা থেকে কতটা সমর্থন লাভ করে ? এ প্রশ্নের উত্তর দেয়া সহজ কাজ নয়। কারণটা ফিজোর (Fizeau) মৌলিক পরীক্ষা সম্পর্কে আলোচনা প্রসঙ্গে আগেই উল্লেখ করা হয়েছে। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ আকার গ্রহণ করেছে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় পরিঘটনা সম্পর্কিত ম্যাক্সওয়েল লোরেঞ্জ তত্ত্ব থেকে। সুতরাং অভিজ্ঞতালব্ধ যে সমস্ত তথ্য বিদ্যুৎচুম্বকীয় তত্ত্বকে সমর্থন করে সেগুলি অপেক্ষবাদেরও সমর্থক। বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ বলে আমি এখানে উল্লেখ করছি: অপেক্ষবাদ স্থির তারকা থেকে আমাদের কাছে আগমনশীল আলোকের উপর ক্রিয়া সম্পর্কে ভবিষ্যদবাণী করার সামর্থ আমাদের দান করে। এ ফলগুলি পাবার পদ্ধতি অতীব সরল এবং নির্দেশিত অভিক্রিয়ার (effect) কারণ ঐ স্থির তারকাগুলি সাপেক্ষ পৃথিবীর আপেক্ষিক গতি। দেখা যায় এই নির্দেশিত ফলের সঙ্গে অভিজ্ঞতার ঐক্য রয়েছে। আমরা উল্লেখ করছি সূর্যকে বেষ্টন করে পৃথিবীর গতির অপেরণের (aberration) ফলে স্থির তারকাগুলির আপাতদৃষ্ট অবস্থানের বার্ষিক গতি এবং উল্লেখ করছি সেগুলি থেকে আমাদের কাছে আগমনশীল আলোকের রঙের উপর পৃথিবী সাপেক্ষ স্থির তারকাগুলির আপেক্ষিক গতির অরীয় (radial) উপাদানের প্রভাব। শেষোক্ত অভিক্রিয়া নিজেকে প্রকাশ করে এইভাবে: পার্থিব উৎসজাত আলোক থেকে উৎপন্ন বর্ণালী রেখার অবস্থানের তুলনায় একটি স্থির তারকা থেকে আমাদের কাছে প্রেরিত আলোকের একই বর্ণালী রেখাগুলির অবস্থানের সামান্য স্থানচ্যুতি (Doppler principle—ডপলারের নীতি)। ম্যাক্সওয়েল-লোরেঞ্জ তত্ত্বের সপক্ষে পরীক্ষা ভিত্তিক যুক্তিগুলি অপেক্ষবাদের সমর্থক যুক্তিও বটে। সে যুক্তিগুলি

সংখ্যায় এত বেশী যে এখানে সেগুলির উল্লেখ সম্ভব নয়। আসলে সেগুলি তাত্ত্বিক সম্ভাবনাকে এত বেশী সীমিত করে যে ম্যাক্সওয়েল-লোরেঞ্জতত্ত্ব ছাড়া অন্য কোন তত্ত্বই অভিজ্ঞতার পরীক্ষায় উত্তীর্ণ হতে পারে নি।

কিন্তু এ পর্যন্ত যে সমস্ত পরীক্ষা ভিত্তিক তথ্য পাওয়া গিয়েছে তার ভিতরে দুটি শ্রেণী আছে যেগুলি ম্যাক্সওয়েল লোরেঞ্জ তত্ত্বে স্থান পেতে পারে শুধুমাত্র একটি সহায়ক প্রকল্প উপস্থাপনের সাহায্যে। অপেক্ষবাদ ব্যবহার না করলে সে প্রকল্পকে স্বতঃত (in itself) বহিরাগত মনে হয়।

এ তথ্য জানা আছে যে তেজস্ক্রিয় বস্তুগুলি থেকে নির্গত ক্যাথোড রশ্মি (cathode rays) এবং তথা কথিত β রশ্মির (β-rays) উপাদান অত্যন্ত কম জড়ত্ব, অত্যন্ত বেশী গতিবেগ এবং ঋণাত্মক বিদ্যুৎশক্তি সম্পন্ন কণা (electron)। বৈদ্যুতিক ও চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে এই রশ্মিগুলির বিক্ষেপ (deflection) পরীক্ষার সাহায্যে এই কণাগুলির গতির বিধি আমরা অত্যন্ত নির্ভুল ভাবে অধ্যয়ন করতে পারি।

এই ইলেকট্রন গুলির তাত্ত্বিক বিচার করতে গেলে আমাদের একটি অসুবিধায় পড়তে হয়। সে অসুবিধা হোল, বৈদ্যুৎ গতিকীতত্ত্ব (electro dynamic theory) স্বতঃত (in itself) এ গুলির চরিত্রের বর্ণনা দিতে অক্ষম। সমলিঙ্গের (of one sign) বৈদ্যুতিক ভরগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। কাজে কাজেই ঋণাত্মক বৈদ্যুতিক ভর দিয়ে গঠিত ইলেকট্রন গুলির তাদের পারস্পারিক বিকর্ষণ শক্তির প্রভাবে বিক্ষেপিত (scattered) হওয়া উচিত। অবশ্য তাদের অন্তবর্তী ক্রিয়াশীল অন্য কোন বল যদি না থাকে। এ রকম বলের প্রকৃতি এ পর্যন্ত আমাদের কাছে অস্পষ্ট থেকে গিয়েছে।[1] এখন যদি আমরা অনুমান করি যে যতক্ষণ পর্যন্ত তারা গতিশীল ততক্ষণ পর্যন্ত যে বৈদ্যুতিক ভর দিয়ে ইলেকট্রনগুলি গঠিত সেগুলির পারস্পারিক আপেক্ষিক দূরত্ব অপরিবর্তিত থাকে (চিরায়ত বলবিদ্যার অর্থে অনমনীয় সংযোগ) তা হলে আমরা ইলেকট্রনের গতি সম্পর্কে যে বিধিতে উপনীত হই তার সংগে অভিজ্ঞতার ঐক্য থাকে না। শুদ্ধ প্রচলিত প্রথানুসারী দৃষ্টিভঙ্গি অনুসরণ করে এইচ. এ. লোরেঞ্জই প্রথম এই প্রকল্প উপস্থিত করেছিলেন যে, গতির দরুন ইলেকট্রনের অবয়ব গতির অভিমুখে সংকোচন অনুভব করে।

---

1 ব্যাপক অপেক্ষবাদ থেকে মনে হয় সম্ভবত মহাকর্ষীয় ভরের সাহায্যে ইলেকট্রনের ভরগুলি পরস্পরকে ধরে রাখে।

সংকুচিত দৈর্ঘ্য এই অভিব্যক্তির অনুপাতিক : $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ । এ প্রকল্পের যৌক্তিকতা বিদ্যুৎগতিকী (electro dynamic) তথ্য দ্বারা সমর্থিত নয়। এ প্রকল্পের সাহায্যে আমরা গতি সম্পর্কীয় সেই বিশেষ বিধিটি প্রাপ্ত হয়েছি যে বিধি আধুনিক কয়েক বছরে অতি নিভু'লভাবে প্রমাণিত হয়েছে।

অপেক্ষবাদ গতি সম্পর্কীয় একই বিধির পথিকৃৎ। তার জন্য ইলেকট্রনের গঠন কিম্বা আচরণ সম্পর্কে কোন বিশেষ প্রকল্পের প্রয়োজন হয় না। পরিচ্ছেদ XIII-তে ফিজোর বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা প্রসঙ্গে আমরা একই সিদ্ধান্তে উপনীত হয়েছিলাম। অপেক্ষবাদ সে পরীক্ষার ফল আগে থেকেই বলেছে। তার জন্য তরল পদার্থের ভৌত প্রকৃতি সম্পর্কিত বিশেষ প্রকল্প থেকে আহরণ করার প্রয়োজন হয় নি।

দ্বিতীয় শ্রেণীর যে ঘটনাগুলি সম্পর্কে আমরা পরোক্ষ ভাবে উল্লেখ করেছি সেগুলি হোল : পার্থিব পরীক্ষার সাহায্যে স্থানে (space) পৃথিবীর গতি অনুভব করা যায় কিনা এই প্রশ্ন। সেই বিষয়ে পরিচ্ছেদ V-এ এর আগেই আমরা বলেছি এ জাতীয় সমস্ত প্রচেষ্টাই নাস্তিবাচক ফল প্রসব করেছে। অপেক্ষবাদ উপস্থাপনের আগে এই নাস্তিবাচক ফল মেনে নেওয়া ছিল খুবই শক্ত। তার কারণ গুলি এবার আলোচনা করা হবে। উত্তরাধিকার সূত্রে প্রাপ্ত স্থান এবং কাল সম্পর্কিত সংস্কার একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র থেকে অন্য স্থানাঙ্কতন্ত্রে পরিবর্তনে গ্যালিলীয় রূপান্তরের গুরুত্বের প্রাধান্য সম্পর্কে কোন সন্দেহই অনুমোদন করেনি। যদি অনুমান করা হয় ম্যাক্সওয়েল লোরেঞ্জ সমীকরণ একটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (reference body) K সাপেক্ষ সত্য, তা হলে আমরা দেখতে পাই K সাপেক্ষ সমরূপে চলমান বস্তুপিণ্ড K' সম্পর্কে সে অনুমান সত্য নয়। অবশ্য আমরা যদি ধরে নিই যে K এবং K' স্থানাঙ্কগুলির ভিতরে গ্যালিলীয় রূপান্তর সম্পর্ক রয়েছে। সুতরাং মনে হয় সমস্ত গ্যালিলীয় স্থানাঙ্কতন্ত্রগুলির ভিতরে গতির একটি বিশেষ অবস্থার অনুরূপ একটি তন্ত্র K ভৌতভাবে অদ্বিতীয়। স্থানে অবস্থিত প্রকল্পিত ইথার সাপেক্ষ K স্থিতিশীল এই বিবেচনার সাহায্যে এই ফল ব্যাখ্যা করা হয়েছিল। অন্যদিকে K সাপেক্ষ চলমান সমস্ত স্থানাঙ্কতন্ত্র K' ইথার সাপেক্ষ চলমান বলে ধরে নেওয়া হয়েছিল। ইথার সাপেক্ষ K' এর এই গতির (K' সাপেক্ষ ইথার তাড়না æther drift) উপর আরো জটিল কতগুলি বিধি আরোপ করা হয়েছিল এবং অনুমান করা হয়েছিল K' সাপেক্ষ সেগুলি সত্য। নিভু'ল ভাবে বলতে গেলে এই ধরণের ইথার তাড়না পৃথিবী সাপেক্ষও অনুমান করা উচিত এবং অনেক দিন পর্যন্ত পদার্থ-

বিদদের চেষ্টা ছিল পৃথিবীর পৃষ্ঠে ইথার তাড়নার (æther drift) অস্তিত্ব আবিষ্কার করা।

সব চাইতে উল্লেখযোগ্য একটি প্রচেষ্টা ছিল মিচেলসনের (Michelson) মনে হয় যেন তার উদ্ভাবিত পদ্ধতি নিশ্চিতরূপে নিষ্পত্তি মূলক। কল্পনা করুন দুটি আয়নাকে একটি অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের উপর এমন ভাবে রাখা হয়েছে যে তাদের প্রতিফলক পৃষ্ঠগুলি (reflecting surface) মুখোমুখি। যদি পুরো তন্ত্রটা ইথার সাপেক্ষ স্থির অবস্থায় থাকে তা হলে একটি আয়না থেকে অন্য আয়নায় যেতে এবং সেখান থেকে ফিরে আসতে আলোকের নির্ভুল নিশ্চিত সময় T প্রয়োজন হবে। গণনা করে দেখা যায় বস্তুপিণ্ডটি যদি আয়না সমেত ইথার সাপেক্ষ চলমান হয় তা হলে এই ক্রিয়ার জন্য প্রয়োজন হয় সামান্য পৃথক সময় T'। আরো একটি বিষয় গণনা করে দেখা গিয়েছে ইথার সাপেক্ষ একটি নির্দিষ্ট গতিবেগ v হোলে বস্তুপিণ্ডটির গতি যদি আয়নার তলের লম্বমুখী হয় তা হলে এই সময় T' এক রকম হবে আবার গতিমুখ আয়নার তলের সমান্তরাল হলে হবে অন্য রকম। অনুমিত এই দুটি সময়ের পার্থক্য অত্যন্ত অল্প। কিন্তু মিচেলসন এবং মর্লি (Morley) ব্যতিচারের সাহায্যে (involving interference) যে পরীক্ষা করেছিলেন সে পরীক্ষায় এ পার্থক্য স্পষ্টভাবে ধরা পড়া উচিত ছিল। কিন্তু পরীক্ষার ফল হোল নেতিবাচক। এ ঘটনা পদার্থবিদদের কাছে অত্যন্ত হতবুদ্ধিকর। লোরেঞ্জ এবং ফিটজারাল্ড (Fitzgerald) তত্ত্বটিকে এই সংকট থেকে উদ্ধার করেছিলেন। তাঁদের অনুমান ছিল ইথার সাপেক্ষ বস্তুপিণ্ডটির গতির ফলে গতির অভিমুখে বস্তুপিণ্ডের সঙ্কোচন হয়। সঙ্কোচনের পরিমাণ এমন যে উপরে উল্লিখিত সময়ের পার্থক্য পরিপূরণের জন্য সে পরিমাণ পর্যাপ্ত মাত্র। পরিচ্ছেদ XII-এর আলোচনার সঙ্গে তুলনা করলে দেখা যায় অপেক্ষবাদের দৃষ্টিভঙ্গি থেকেও এ সমাধান সঠিক ছিল। কিন্তু অপেক্ষবাদের ভিত্তিতে ব্যাখ্যার পদ্ধতি অতুলনীয় সন্তোষজনক। এই তত্ত্ব অনুসারে "বিশেষভাবে অনুগৃহীত" (অদ্বিতীয়) স্থানাঙ্কতন্ত্র বলে কোন জিনিষ নেই, যার জন্য ইথারের চিন্তাধারা উপস্থিত করা যেতে পারে। সুতরাং কোন ইথার তাড়না হতে পারে না এবং সেটা প্রদর্শন করার জন্য কোন বৈজ্ঞানিক পরীক্ষাও সম্ভব নয়। চলমান বস্তুপিণ্ডের সংকোচন এখানে তত্ত্বের দুটি মূলগত নীতির ফলশ্রুতি এবং তার জন্য কোন বিশেষ প্রকল্পের উপস্থিতি নেই। আমরা দেখতে পাই এই সংকোচনের সঙ্গে বিজড়িত প্রধান উপাদান স্বতঃত গতি নয়। সে গতিতে কোন অর্থ আমরা আরোপ করতে পারি না। এ ক্ষেত্রে প্রাথমিক উপাদান

ওই বিশেষ ক্ষেত্রে নির্বাচিত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ গতি। সুতরাং পৃথিবীর সঙ্গে চলমান একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র সাপেক্ষ মিচেলসন মর্লি'র দর্পণতন্ত্র সংকুচিত হয় না তবে সূর্য সাপেক্ষ স্থিতিশীল একটি স্থানাঙ্কতন্ত্র সাপেক্ষ হয়।

XVII

মিনকাউস্কির (Minkowski) চারমাত্রিক স্থান

যিনি গণিতবিদ্ নন "চারমাত্রিক" বস্তুর কথা শুনলে তাঁর একটা রহস্যময় কম্পন সুরু হয়। গূঢ় রহস্যের (occult) কথা শুনলে যে রকম হয়—অনেকটা সেই রকম। অথচ যে বিশ্বে আমরা বাস করি সেটি একটি চারমাত্রিক স্থান কাল সাংতত্যক (four dimensional space time continuum)। এর চাইতে অতি সাধারণ বক্তব্য আর কিছু নেই।

স্থান একটি ত্রিমাত্রিক সাংতত্যক। আমাদের কাছে এ কথার অর্থ : (স্থিতিশীল) যে কোন একটি বিন্দুর অবস্থানের বিবরণ তিনটি সংখ্যা x, y, z, (স্থানাঙ্ক) দিয়ে দেওয়া যায়। এই বিন্দুর সন্নিকটে অনিশ্চিত (indefinite) সংখ্যক বিন্দু রয়েছে। সেগুলির অবস্থানের বিবরণও স্থানাঙ্কের সাহায্যে দেওয়া সম্ভব। যথা—x_1, y_1, z_1 এগুলির সঙ্গে পর্যায়ক্রমে x, y, z স্থানাঙ্কের মানের নৈকট্য আমাদের পছন্দ মত হতে পারে। শেষোক্ত ধর্মের জন্য আমরা একটি "সাংতত্যকের (continuum)" কথা বলি এবং যেহেতু তিনটি স্থানাঙ্ক রয়েছে সেই জন্য আমরা একে "ত্রিমাত্রিক" বলি।

একইভাবে মিনকাউস্কি যাকে সংক্ষেপে বিশ্ব বলেছেন সেই ভৌত পরিঘটনার বিশ্ব স্থান কালের অর্থে স্বভাবত চারমাত্রিক। কারণ একাধিক একক ঘটনা দিয়ে এটা গঠিত এবং প্রতিটির বিবরণ দেওয়া হয় চারটি সংখ্যা দিয়ে : তিনটি স্থান নির্দেশক x, y, z এবং একটি কাল নির্দেশক : কালমান t। এ অর্থে "বিশ্ব" একটি সাংতত্যক। কারণ প্রতিটি ঘটনা সাপেক্ষ "সান্নিধ্যে" রয়েছে আমাদের পছন্দমত সংখ্যাবহুল ঘটনা (বাস্তবিক কিম্বা চিন্তায় সম্ভাব্য)। সেগুলির স্থানাঙ্ক x_1, y_1, z_1, t_1 এবং প্রারম্ভে বিচার করা ঘটনার স্থানাঙ্ক x, y, z, t এর পার্থক্য

অনির্দিষ্ট রকম ক্ষুদ্র পরিমাণ। বিশ্বকে আমরা এইভাবে চারমাত্রিক সাংতত্যক বলে ভাবতে অভ্যস্ত নই তার কারণ অপেক্ষবাদের আবির্ভাবের পূর্বে পদার্থবিদ্যায় স্থান জ্ঞাপক স্থানাংক গুলির তুলনায় কালের ভূমিকা ছিল ভিন্ন এবং অনেক বেশী অন্যনিরপেক্ষ। এই জন্য কালকে আমরা একটি অন্যনিরপেক্ষ সাংতত্যক রূপে ভাবতে অভ্যস্ত। আসলে চিরায়ত বলবিদ্যা অনুসারে কাল "পরম" (absolute)। অর্থাৎ কাল স্থানাংকতন্ত্রের গতির অবস্থা এবং অবস্থান নিরপেক্ষ। গ্যালিলিয় রূপান্তরের শেষ সমীকরণে ($t' = t$), এর প্রকাশ আমরা দেখেছি।

অপেক্ষবাদে "বিশ্বের" চারমাত্রিক বিচার স্বাভাবিক কারণ এই তত্ত্ব অনুসারে কাল তার অন্যনিরপেক্ষতত্ব হারিয়েছে। লোরেঞ্জ রূপান্তরের চতুর্থ সমীকরণে এটা দেখা যায় :

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

তাছাড়া এই সমীকরণ অনুসারে K সাপেক্ষ দুটি ঘটনার কালের পার্থক্য $\triangle t$ যখন অদৃশ্য হয় তখনও K' সাপেক্ষ একই দুটি ঘটনার কালের পার্থক্য $\triangle t'$ সাধারণত অদৃশ্য হয় না। K সাপেক্ষ দুটি ঘটনার বিশুদ্ধ "স্থান দূরত্বের" (space distance) ফলশ্রুতি K' সাপেক্ষ সেই দুটি ঘটনার "কাল দূরত্ব"। কিন্তু অপেক্ষবাদের অবয়বের (formal) বিকাশে গুরুত্বপূর্ণ মিনকাউস্কির আবিষ্কারের অবস্থান এখানে নয়। অপেক্ষবাদের চারমাত্রিক স্থানকাল সাংতত্যকের ধর্মের সর্বাপেক্ষা সারীভূত (essential) অবয়ব ইউক্লিডীয় জ্যামিতির স্থানে ত্রিমাত্রিক সাংতত্যকের সঙ্গে একটি গভীর সম্পর্ক প্রদর্শন করে[1] : এই স্বীকারোক্তিতে অবস্থান মিনকাউস্কির আবিষ্কারের। এই সম্পর্কের উপযুক্ত মর্যাদা দেওয়ার জন্য আমাদের কিন্তু প্রচলিত কাল নির্দেশক (co-ordinate) K এর স্থানে তার সঙ্গে আনুপাতিক একটি কাল্পনিক রাশি

---

1 খানিকটা বিস্তৃত আলোচনা পরিশিষ্ট II এ।

$\sqrt{-1}\, ct$ অবশ্যই প্রতিস্থাপন করতে হবে। এই সর্তগুলি সাপেক্ষ (বিশিষ্ট) অপেক্ষবাদের দাবী পূরণ করার মতো প্রাকৃতিক বিধিগুলি গাণিতিক অবয়ব গ্রহণ করে। সে অবয়বে কাল নির্দেশক এবং তিনটি স্থান নির্দেশকের ভূমিকা নির্ভুল ভাবে এক। প্রথাগত ভাবে (formally) এই চারটি স্থানাঙ্ক (নির্দেশক) নির্ভুল রূপে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির তিনটি স্থানাঙ্কের (নির্দেশক) অনুরূপ। এমন কি যিনি গণিতবিদ নন তাঁর কাছেও এ তথ্য স্পষ্ট যে আমাদের জ্ঞানভাণ্ডারের শুধুমাত্র আকারগত (formal) এই বৃদ্ধির ফলে আমাদের তত্ত্ব যে স্পষ্টতা লাভ করেছে সেটা কোনোক্রমেই স্বল্প নয়।

মিনকাউস্কি যে গুরুত্বপূর্ণ চিন্তাধারা দান করেছেন এই সমস্ত অসম্পূর্ণ মন্তব্যে পাঠকের সে সম্পর্কে শধুমাত্র অস্পষ্ট ধারণাই হতে পারে। পরবর্তী পৃষ্ঠা গুলিতে ব্যাপক অপেক্ষবাদের মূলগত চিন্তাধারা বিকাশ লাভ করেছে। মিনকাউস্কির চিন্তন ছাড়া ব্যাপক অপেক্ষবাদ তার বহিরাবরণের (long clothes) বেশী অগ্রসর হোত না। গণিতে অনভিজ্ঞ কারো পক্ষে মিনকাউস্কির লেখা বোঝা বেশ শক্ত সন্দেহ নেই। কিন্তু বিশিষ্ট এবং ব্যাপক অপেক্ষবাদের মূলগত ধারণাগুলি বুঝবার জন্য তাঁর লেখা নির্ভুলভাবে জানার কোন প্রয়োজন নেই, সেই জন্য এখানে সে আলোচনা আমি করলাম না। এ আলোচনায় ফিরে আসবো শুধু দ্বিতীয় খণ্ডের শেষে।

ব্যাপক অপেক্ষবাদ

দ্বিতীয় খণ্ড

XVIII
অপেক্ষবাদের বিশিষ্ট ও ব্যাপক নীতি

মূলগত নীতি অর্থাৎ পূর্ব আলোচনার কেন্দ্রবিন্দু ছিল অপেক্ষবাদের বিশিষ্ট নীতি (special principle of relativity) অর্থাৎ সমস্ত 'সমরূপ' গতির ভৌত আপেক্ষিকতা বিষয়ক নীতি। এর অর্থ আর একবার সাবধানে বিশ্লেষণ করা যাক।

বিষয়টা সবসময়ই স্পষ্ট ছিল। বিশিষ্ট আপেক্ষিক নীতি যে চিন্তাধারা আমাদের কাছে বহন করে এনেছে সেই দৃষ্টিভঙ্গি থেকে সমস্ত গতিকেই শুধুমাত্র আপেক্ষিক গতি বলে বিচার করা আবশ্যক। রেলগাড়ি এবং বাঁধের বারংবার ব্যবহৃত উদাহরণে ফিরে এসে এখানে সংঘটিত গতির ঘটনা আমরা নিম্নলিখিত দুভাবে প্রকাশ করতে পারি। দুরকম প্রকাশই সমান যুক্তিসংগত :

(ক) বাঁধ সাপেক্ষ গাড়িটি গতিশীল

(খ) গাড়ি সাপেক্ষ বাঁধটি গতিশীল

ঘটমান গতি সম্পর্কে আমাদের বক্তব্যে—(ক) এর ক্ষেত্রে বাঁধ এবং (খ) এর ক্ষেত্রে গাড়িটা নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের ভূমিকা পালন করে। শুধুমাত্র যদি গতির বিবরণ দেয়া কিম্বা গতি সনাক্ত করার প্রশ্নই জড়িত থাকে তা হলে কোন্ নির্দেশবস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ গতি নীতিগত ভাবে সে প্রশ্নের কোন মূল্য নেই। এ তথ্য স্বপ্রকাশ—এ কথা আগেই উল্লেখ করা হয়েছে। কিন্তু "আপেক্ষিকতার নীতি" (principle of relativity) নামক আরো ব্যাপক (comprehensive) বক্তব্যের সঙ্গে একে গুলিয়ে ফেললে চলবে না। এই নীতিকেই অনুসন্ধানের ভিত্তিরূপে আমরা গ্রহণ করেছি।

যে নীতি আমরা ব্যবহার করেছি সে নীতি শুধু এ বিশ্বাসই করে না যে,—যে কোন ঘটনার বিবরণের জন্য আমাদের নির্দেশ বস্তুপিণ্ড রূপে বাঁধ কিম্বা গাড়ি যে কোন একটিকে বেছে নেওয়া সমানই হবে (কারণ এ তথ্যও স্বতঃ প্রতীয়মান)। আমাদের নীতি বরং দৃঢ়ভাবে নিম্নলিখিত ঘোষণা করে :

(ক) বাঁধটিকে নির্দেশবস্তুপিণ্ডরূপে বিচার করা।

(খ) রেলগাড়িটিকে নির্দেশবস্তুপিণ্ডরূপে বিচার করা।

এই দুটি দৃষ্টিভঙ্গি ব্যবহার করে অভিজ্ঞতা থেকে প্রাপ্তির ভিত্তিতে যদি আমরা প্রকৃতির সাধারণ বিধি গঠন করি তা হলে এই দুটি ক্ষেত্রেই এই সমস্ত প্রাকৃতিক বিধিগুলির (বলবিদ্যার বিধিসমূহ, কিম্বা শূন্যস্থানে আলোক বিস্তারের বিধি) অবয়ব নির্ভুলভাবে এক হবে। এ তথ্য নিম্নলিখিত উপায়েও প্রকাশ করা সম্ভব : প্রাকৃতিক প্রক্রিয়াগুলির ভৌত বিবরণের জন্য নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K, K' এর ভিতরে কোনটিই অপরটির তুলনায় অদ্বিতীয় নয় (আক্ষরিক অর্থে—"বিশেষভাবে চিহ্নিত") প্রথমটির সঙ্গে বৈসাদৃশ্য (unlike the first) : এই পরবর্তী বক্তব্যের অবরোহী (*a priori*) যুক্তিতে সত্য হওয়ার কোন প্রয়োজন নেই। এ তথ্য "গতি" এবং "নির্দেশ বস্তুপিণ্ড" সম্পর্কীয় ধারণার অন্তর্ভুক্ত নয় এবং তা থেকে আহরণও সম্ভব নয়। শুধুমাত্র অভিজ্ঞতাই এ তথ্যের সত্যাসত্য সম্পর্কে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করতে পারে।

এ পর্যন্ত আমরা কিন্তু প্রকৃতির বিধিগুলি গঠনে 'সমস্ত' নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K এর তুল্যতা (equivalence) কোন ক্রমেই মেনে নিই নি। আমাদের গতিপথের বেশীর ভাগই ছিল নিম্নলিখিত ধারায়। প্রথমত আমরা এই অনুমান থেকে শুরু করেছিলাম যে এমন একটি বস্তুপিণ্ড K রয়েছে যে বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ গ্যালিলীয় বিধি সত্য : অন্য সমস্ত বস্তুকণা থেকে যথেষ্ট দূরে অবস্থিত স্বতঃ প্রবৃত্ত (left to itself) একটি বস্তুকণা ঋজুরেখায় সমরূপে চলমান হয়। K (গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড) সাপেক্ষ প্রকৃতির বিধিগুলির যতটা সম্ভব সরল হোতে হোত। কিন্তু K ছাড়াও অন্য সমস্ত বস্তুপিণ্ড K'কে এই অর্থে অগ্রাধিকার (preference) দিতে হবে এবং প্রকৃতির বিধিসমূহ গঠনে K-এর সঙ্গে তাদের নির্ভুল তুল্যতা থাকতে হবে : অবশ্য তাদের গতি যদি K সাপেক্ষ 'সমরূপ ঋজুরেখ এবং ঘূর্ণন রহিত' (non rotary) হয়। এই সমস্ত নির্দেশ বস্তুপিণ্ডকে গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ডরূপে বিচার করতে হবে। আপেক্ষিকতা নীতির সত্যতা শুধুমাত্র এই নির্দেশ বস্তুপিণ্ডগুলি সম্পর্কেই মেনে নেওয়া হয়েছিল অন্যগুলি (অর্থাৎ যে গুলির গতির রূপ ভিন্ন) সম্পর্কে নয়।

এই অর্থেই আমরা 'বিশিষ্ট' আপেক্ষিক নীতি কিংবা বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের কথা বলি।

এর বৈপরিত্যে (in contrast) "ব্যাপক আপেক্ষিক নীতি" বলতে আমরা বুঝাতে চাই নিম্নলিখিত বক্তব্য : গতির অবস্থা নির্বিশেষে প্রাকৃতিক পরিঘটনার বিবরণের জন্য (প্রকৃতির সাধারণ বিধি গঠনের জন্য) K, K' ইত্যাদি সমস্ত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড তুল্য। কিন্তু আর অগ্রসর হবার আগে বলা উচিত : পরে এই সূত্রের স্থলে আরো বিমূর্ত সূত্র প্রতিস্থাপন করতে হবে। এরপর তার কারণ স্পষ্ট প্রতীয়মান হবে।

বিশিষ্ট আপেক্ষিক নীতি উপস্থাপনের যৌক্তিকতা প্রমাণিত হবার পর সাধারণীকরণের অভিমুখে সচেষ্ট যে কোন বোধিত ব্যক্তিরই (every intellect) সাধারণ অপেক্ষবাদ নীতির অভিমুখে সাহসের সঙ্গে অগ্রসর হবার প্রলোভন হবে। কিন্তু সরল ও আপাতদৃষ্টিতে যথেষ্ট বিশ্বাসযোগ্য বিচারে মনে হয় বর্তমানে অন্তত সে প্রচেষ্টায় সাফল্যের সম্ভাবনা কম। কল্পনা করা যাক আমরা আমাদের পুরানো বন্ধু রেলগাড়িতে বদলি হয়েছি। গাড়িটি সমহারে চলমান। যতক্ষণ পর্যন্ত গতি সমরূপ ততক্ষণ পর্যন্ত গাড়ির আরোহী গতি সম্পর্কে বোধশূন্য এবং এইজন্য সে অনিচ্ছা ছাড়াই ঘটনার ব্যাখ্যা করতে পারে : গাড়িটি স্থিতিশীল—বাঁধটি চলমান। তা ছাড়া বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের নীতি অনুসারে ভৌত দৃষ্টিভঙ্গি থেকে এ ব্যাখ্যা যথেষ্ট যুক্তিপূর্ণ।

উদাহরণ স্বরূপ এখন যদি সজোরে ব্রেক কষে গাড়ির গতিকে অসমরূপে পরিবর্তিত করা হয় গাড়ির আরোহী তা হলে সামনের দিকে অনুরূপ শক্তিশালী ঝাঁকুনী বোধ করবে। হ্রস্বগতি প্রকাশ পাবে রেলগাড়ির ভিতরের ব্যক্তি সাপেক্ষ বস্তুপিণ্ডগুলির যান্ত্রিক আচরণে। পূর্ব আলোচনার ক্ষেত্রের তুলনীয় এ ক্ষেত্রে যান্ত্রিক আচরণ ভিন্ন। এবং এই জন্যই মনে হবে গাড়ির স্থির কিম্বা সমরূপ গতিসম্পন্ন অবস্থা সাপেক্ষ যে বলবিদ্যাবিধিগুলি সত্য সেই একই বলবিদ্যাবিধি অসমরূপ গতি সম্পন্ন গাড়ি সাপেক্ষ সত্য হওয়া অসম্ভব। সব অবস্থাতেই এ তথ্য সত্য যে গ্যালিলীয় বিধি অসমরূপ গতি সম্পন্ন গাড়ি সাপেক্ষ সত্য নয়। এই জন্যই এই সন্ধিক্ষণে আমরা আপেক্ষিকতার সাধারণ নীতির বিরুদ্ধে অসমরূপ গতিকে এক ধরনের পরম (absolute) ভৌত বাস্তবতা দান করতে বাধ্য বোধ করছি। কিন্তু পরবর্তী তথ্য থেকে শীঘ্রই বোঝা যাবে এ সিদ্ধান্ত মেনে চলা যায় না।

XIX

মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র

"আমরা যদি একটা পাথর তুলে নিয়ে ছেড়ে দিই তা হলে সেটা মাটিতে পড়ে কেন?" এ প্রশ্নের প্রচলিত উত্তর, "কারণ পৃথিবী তাকে আকর্ষণ করে।" নিম্নলিখিত কারণে আধুনিক পদার্থবিদ্যা উত্তরটা গঠন করে একটু ভিন্ন ভাবে। বিদ্যুৎ চুম্বকীয় পরিঘটনা আরো বিশদভাবে পাঠের ফলে আমাদের বর্তমান বিবেচনায় অন্তর্বর্তী কোন মাধ্যমের হস্তক্ষেপ ছাড়া দূরবর্তী ক্রিয়া, পদ্ধতি হিসাবে অসম্ভব। উদাহরণ: একটি চুম্বক যদি এক টুকরো লোহাকে আকর্ষণ করে তা হলে আমরা এ বিচার করেই সন্তুষ্ট থাকতে পারি না যে মধ্যবর্তী শূন্য স্থানের ভিতর দিয়ে চুম্বক প্রত্যক্ষভাবে লোহার উপয় ক্রিয়া করে। বরং আমরা ফ্যারাডের মতো কল্পনা করতে বাধ্য হই যে চুম্বক সব সময়ই তার সর্ব দিকের স্থানে ভৌত ভাবে বাস্তব একটা কিছু সৃষ্টি করে। সেই "একটা কিছুরই" আমরা নাম দিয়েছি "চৌম্বক ক্ষেত্র"। এবার চুম্বকক্ষেত্রের পালা লোহার টুকরোর উপর ক্রিয়া করা। ফলে লোহার টুকরো চুম্বকের দিকে যেতে চেষ্টা করে। এই প্রাসঙ্গিক কল্পনের যৌক্তিকতা নিয়ে আমরা এখানে আলোচন করবো না। আসলে ধারণাটা খানিকটা যাদৃচ্ছিক (arbitrary) বটে। আমরা শুধু উল্লেখ করব: এর সাহায্যে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় পরিঘটনার তাত্ত্বিক উপস্থাপন অনেক বেশী সন্তোষজনক। এই ধারণা ছাড়া অতটা সন্তোষজনক নয়। এ বক্তব্য বিশেষ করে প্রযোজ্য বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ প্রেরণের ক্ষেত্রে। মহাকর্ষের ক্রিয়াও বিচার করা হয় অনুরূপভাবে।

পাথরের উপর পৃথিবীর ক্রিয়া পরোক্ষ। পৃথিবী তার সর্বদিকে একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সেই ক্ষেত্র পাথরের উপর ক্রিয়া করে এবং সৃষ্টি করে পতনের গতি। অভিজ্ঞতা থেকে আমরা জানি, পৃথিবী থেকে যতদূরে আমরা যাই—একটা

নির্দিষ্ট নিশ্চিত বিধি অনুসারে বস্তুপিণ্ডের উপর ক্রিয়ার প্রাবল্য তত কমে। আমাদের দৃষ্টিভঙ্গি থেকে এর অর্থ: ক্রিয়াশীল বস্তুপিণ্ডগুলি থেকে দূরত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে মহাকর্ষীয় ক্রিয়ার হ্রাস প্রাপ্তিকে নির্ভুল ভাবে উপস্থাপন করতে হলে স্থানে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ধর্মগুলির শাসন বিধি নির্ভুল, নিশ্চিত এবং নির্দিষ্ট হওয়া আবশ্যিক। ঘটনা অনেকটা এই রকম: বস্তুপিণ্ডটি (অর্থাৎ পৃথিবী) তার আসন্ন সান্নিধ্যে প্রত্যক্ষভাবে একটি ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। অতঃপর ঐ বস্তুপিণ্ড থেকে দূরে অবস্থিত বিন্দুগুলিতে ক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং অভিমুখ নির্ধারিত হয় স্থানে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রগুলির নিজস্ব ধর্মের শাসনবিধির সাহায্যে।

চৌম্বক এবং বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রগুলির সঙ্গে বৈসাদৃশ্য মূলক একটি উল্লেখযোগ্য ধর্ম দেখা যায়। মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের পরবর্তী আলোচনা বোঝার জন্য সে ধর্মের গুরুত্ব মূলগত। যে সমস্ত বস্তুপিণ্ড শুধুমাত্র মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রভাবে চলমান সেগুলি একটি ত্বরণ (accelaration) লাভ করে। 'এই ত্বরণ বস্তুপিণ্ডটির ভৌত অবস্থা কিংবা গঠন পদার্থের (material) উপর লেশমাত্র নির্ভরশীল নয়।' উদাহরণ: স্থিতাবস্থা কিম্বা একই প্রারম্ভিক গতিবেগ থেকে সুরু করলে এক টুকরো কাঠ কিম্বা সীসার মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে ('শূন্যস্থানে') পতন নির্ভুলভাবে এক-রকম হবে। এ বিধির সত্যতা সর্বাপেক্ষা নির্ভুল। নিম্নলিখিত বিচারের আলোকে এ বিধি অন্যভাবেও প্রকাশ করা যায়। নিউটনের গতির বিধি অনুসারে আমরা পাই:

$$(\text{বল}) = (\text{জড়ত্বীয় ভর}) \times (\text{ত্বরণ})$$

এ ক্ষেত্রে "জড়ত্বীয় ভর" ত্বরিত বস্তুপিণ্ডের একটি বৈশিষ্ট্যমূলক ধ্রুবক। এখন, মহাকর্ষ যদি ত্বরণের কারণ হয় তাহলে আমরা পাই—

$$(\text{বল}) = (\text{মহাকর্ষীয় ভর}) \times (\text{মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রাবল্য})।$$

এ ক্ষেত্রে একইভাবে "মহাকর্ষীয় ভর" বস্তুপিণ্ডের একটি বৈশিষ্ট্যমূলক ধ্রুবক। এই দুটি সম্পর্কের ফলশ্রুতি:

$$\text{ত্বরণ} = \frac{(\text{মহাকর্ষীয় ভর})}{(\text{জড়ত্বীয় ভর})} \times (\text{মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রাবল্য})$$

এখন অভিজ্ঞতায় আমরা যা দেখি তাই যদি হয় অর্থাৎ ত্বরণ যদি বস্তুপিণ্ডের ধর্ম এবং অবস্থা নিরপেক্ষ হয় এবং প্রদত্ত একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে সব সময়ই অভিন্ন হয় তা হলে একইরূপে সমস্ত বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ মহাকর্ষীয় ভর এবং জড়ত্বীয় ভরের

অনুপাত অভিন্ন হবে। সুতরাং উপযুক্ত একক বেছে নিলে আমরা এই অনুপাতকে একের সমান করতে পারি। তা হলে নিম্নলিখিত বিধি আমরা পাই :

একটি বস্তুপিণ্ডের 'মহাকর্ষীয় ভর' তার 'জড়ত্বীয় ভরের' সমান।

এ কথা সত্য যে এই গুরুত্বপূর্ণ বিধি এতদিন বলবিদ্যায় নথিভুক্ত ছিল কিন্তু 'ব্যাখ্যা' করা হয়নি। শুধুমাত্র নিম্নলিখিত তথ্য স্বীকার করে নিলেই একটা সন্তোষজনক ব্যাখ্যা পাওয়া সম্ভব : একটি বস্তুপিণ্ডের 'একই' গুণ পরিবেশ অনুসারে কখনো "জড়ত্ব" আবার কখনো "ওজন" (আক্ষরিক অর্থে "গুরুত্ব") রূপে আত্মপ্রকাশ করে। পরবর্তী পরিচ্ছেদে আমরা দেখাবো বাস্তব ক্ষেত্রে এ তথ্য কতটা সত্য এবং এই প্রশ্নের সঙ্গে ব্যাপক অপেক্ষবাদের স্বীকার্য কতটা জড়িত।

XX

ব্যাপক আপেক্ষিকতার স্বীকার্য্যের যুক্তি হিসাবে জড়ত্বীয় ভর এবং মহাকর্ষীয় ভরের সমতা।

বেশ বড় একখণ্ড শূন্যস্থান আমরা কল্পনা করি। সে স্থান তারকা কিম্বা অন্য কোনো উপলব্ধি যোগ্য ভর থেকে এত দূরে অবস্থিত যে গ্যালিলীওর মূলগত বিধির জন্য প্রয়োজনীয় প্রায় সব সর্তই আমাদের পালিত হয়েছে। তা হলে স্থানের এই অংশে (বিশ্ব) একটি গ্যালিলীয় নির্দেশবস্তুপিণ্ড নির্বাচন সম্ভব। সেই বস্তু-পিণ্ড সাপেক্ষ স্থিতিশীল বিন্দু স্থিতিশীল থাকে এবং গতিশীল বিন্দু থাকে স্থায়ী-ঋজুরেখগতিসম্পন্ন। নির্দেশবস্তুপিণ্ডরূপে কল্পনা করা যাক ঘরের মতো বড় একটা সিন্দুককে। সিন্দুকের ভিতরে একজন পর্যবেক্ষক থাক। তার যান্ত্রিক সরঞ্জামও থাকুক। স্বভাবতই এই পর্যবেক্ষক সাপেক্ষ মহাকর্ষের অস্তিত্ব নেই। তাকে দড়ি দিয়ে নিজেকে মেঝের সঙ্গে বেঁধে রাখতে হবে তাছাড়া মেঝের সঙ্গে সামান্য সংঘাতও তাকে ঘরের ছাতের দিকে ওঠাবে।

সিন্দুকের ঢাকনার মাঝখানে বাইরের দিকে একটা আংটা লাগানো। আংটার সঙ্গে লাগানো একটা দড়ি। এখন, একটি জীব (কি রকম জীব সে প্রশ্ন আমাদের কাছে অর্থহীন) স্থির বলে এটিকে টানতে শুরু করে। পর্যবেক্ষক সমেত সিন্দুকটা সমরূপ 'ত্বরিত' গতিতে আরম্ভ করে "উপরে" ওঠা। সময়ে তাদের গতিবেগের অশ্রুতপূর্ব মান হবে ; অবশ্য আমরা যদি সেটাকে এমন একটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ড থেকে দেখি যেটাকে দড়ি দিয়ে টানা হচ্ছে না।

কিন্তু সিন্দুকের ভিতরের লোকটি এ প্রক্রিয়াকে কি ভাবে বিচার করবে? মেঝের প্রতিক্রিয়ার ফলে সিন্দুকের ত্বরণ তার ভিতরে প্রেরিত হবে। সে যদি সম্পূর্ণ লম্বা হয়ে মেঝেতে শুয়ে পড়তে না চায় তা হলে এই চাপ তাকে গ্রহণ করতে হবে পা দিয়ে। যে কোন লোক আমাদের পৃথিবীতে বাড়ির ভিতরে একটা ঘরে যে ভাবে দাঁড়িয়ে থাকে ঠিক তেমনিভাবে সে সিন্দুকটির ভেতর দাঁড়িয়ে আছে। আগে

থাকতে হাতে ধরে থাকা একটি বস্তুপিণ্ড যদি সে ছেড়ে দেয় তাহলে সিন্দুকের ত্বরণ আর বস্তুপিণ্ডতে প্রেরিত হবে না। সেই জন্য বস্তুপিণ্ডটি ত্বরিত আপেক্ষিক গতিতে সিন্দুকের মেঝের দিকে অগ্রসর হবে। পর্যবেক্ষক নিজেকে আরও বিশ্বাস করাবেন যে : 'পরীক্ষার জন্য তিনি যে রকম বস্তুপিণ্ডই ব্যবহার করুন না কেন সে বস্তুপিণ্ডের সিন্দুকের মেঝের অভিমুখে ত্বরণের পরিমাণ সব সময়ই অভিন্ন হবে।'

সুতরাং নিজের মহাকর্ষীয় জ্ঞানের (পূর্ব পরিচ্ছেদে যে রকম আলোচনা করা হয়েছে।) উপর নির্ভর করে, সিন্দুকের লোকটির সিদ্ধান্ত হবে যে তিনি এবং সিন্দুক একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে রয়েছেন এবং সে ক্ষেত্র কাল সাপেক্ষ অচর। অবশ্যই মুহূর্তের জন্য তার ধাঁধা লাগবে : এই মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে সিন্দুকটা পড়ছে না কেন? ঠিক সেই সময় তিনি সিন্দুকের ঢাকনার মাঝখানের আঙটা এবং তার সঙ্গে লাগানো দাড়টা আবিষ্কার করেন সুতরাং তিনি সিদ্ধান্ত করেন সিন্দুকটা স্থিতাবস্থায় মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে ঝোলানো রয়েছে।

আমরা কি লোকটির দিকে মৃদু হেসে বলবো তার সিদ্ধান্ত ভুল? যুক্তিতে সঙ্গতি রাখতে চাইলে আমাদের এ রকম করা উচিত হবে বলে আমি বিশ্বাস করি না। পরিস্থিতি সম্পর্কে তাঁর বোধ, যুক্তি কিম্বা জ্ঞাত বলবিদ্যাবিধি কোনাটিরই বিরুদ্ধগামী নয় : এ কথা বরং আমাদের অবশ্যই মেনে নেওয়া আবশ্যক। প্রথমে বিচার করা গ্যালিলীয় স্থান সাপেক্ষ যদিও সিন্দুকটা ত্বরিত হচ্ছে তবুও এটাকে আমরা স্থিতিশীল ভাবতে পারি। সুতরাং পরস্পর সাপেক্ষ ত্বরিত নির্দেশ বস্তুপিণ্ডগুলিকে অন্তর্ভুক্ত করার জন্য আপেক্ষিকতার নীতি বিস্তৃত করার উত্তম যুক্তি আমাদের রয়েছে এবং এর ফলশ্রুতি হিসাবে আপেক্ষিকতার একটি সাধারণ স্বীকার্যের সপক্ষে শক্তিশালী একটি যুক্তি আমরা পেয়েছি।

এই ধরনের ব্যাখ্যার সম্ভাবনার ভিত্তি আমাদের অবশ্যই সাবধানে লক্ষ্য করতে হবে। মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের মৌল ধর্মই সে ভিত্তি। সে ধর্ম হোল : সমস্ত বস্তুপিণ্ডকে একই ত্বরণ দান অথবা জড়ত্বীয় ভর এবং মহাকর্ষীয় ভরের সমতা বিষয়ক বিধি। এই দুটি ধর্ম আসলে অভিন্ন। এই স্বাভাবিক বিধিব অস্তিত্ব না থাকলে, মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র অনুমানের ভিত্তিতে ত্বরিত সিন্দুকের লোকটা তার সর্বপার্শ্বের বস্তুপিণ্ডগুলির আচরণ ব্যাখ্যা করতে পারতো না এবং অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে নিজস্ব নির্দেশ বস্তুপিণ্ডকে "স্থিতিশীল" অনুমান করার কোন যুক্তি তার থাকতো না।

ধরুন, সিন্দুকের ভিতরে লোকটি ঢাকনার ভিতরের দিকে একটি দড়ি লাগিয়ে দড়ির ঝোলানো দিকটায় একটি বস্তুপিণ্ড লাগিয়েছে। এর ফলে দড়িটায় টান থাকবে, ফলে সেটা নীচু দিকে "উল্লম্ব" (vertical) ভাবে ঝুলবে। দড়িটার বিততির (tension) কারণ সম্পর্কে মত চেয়ে যদি আমরা প্রশ্ন করি, সিন্দুকের ভিতরের লোকটি তা হলে বলবে, "মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে ঝোলানো বস্তুপিণ্ডটি একটি নিম্নগামী বল অনুভব করে এবং এই বলকে অক্রিয় (neutralise) করে দড়ির বিততি। দড়ির বিততির পরিমাণ নির্ধারণ করে ঝোলানো বস্তুপিণ্ডের মহাকর্ষীয় ভর। অন্যদিকে আবার স্থানে মুক্তভাবে (freely) অবস্থিত একজন পর্যবেক্ষক বস্তুগুলির অবস্থা ব্যাখ্যা করবে এইভাবে : "দড়িটার সিন্দুকের ত্বরিত গতিতে অংশ গ্রহণ করা আবশ্যিক এবং সংযুক্ত বস্তুপিণ্ডতে দড়িটা এ গতি সঞ্চারিত করে। দড়ির বিততি (tension) বস্তুপিণ্ডের ত্বরণ ক্রিয়া সৃষ্টির পক্ষে পর্যাপ্ত মাত্র দড়ির, বিততির পরিমাণ নির্ধারণ করে বস্তুপিণ্ডের 'জড়ত্বীয় ভর'।" এই উদাহরণের নির্দেশিত পথ অনুসরণ করলে আমরা দেখতে পাই আমাদের আপেক্ষিকতার নীতি বিস্তারের অন্তর্নিহিত অর্থ জড়ত্বীয় ভর এবং মহাকর্ষীয় ভরের সমতা বিষয়ক বিধির প্রয়োজনীয়তার ইঙ্গিত। এই ভাবে আমরা পেলাম এই বিধির একটা ভৌত ব্যাখ্যা।

ত্বরিত সিন্দুক সম্পর্কিত বিচার থেকে আমরা দেখতে পাই একটি ব্যাপক অপেক্ষবাদ মহাকর্ষীয় বিধির ক্ষেত্রে মূল্যবান ফল প্রসব করবে। আসলে ব্যাপক আপেক্ষিকতার চিন্তাধারার সুসম্বদ্ধ (systematic) অনুসরণ যে বিধিগুলি দান করেছে, সে বিধিগুলিতে প্রত্যয় এনেছে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র। আর অগ্রসর হবার আগে কিন্তু আমি এই সমস্ত আলোচনা পাঠকদের যে ভুল ধারণার আভাস দেয় সে সম্পর্কে সাবধান করবো। প্রথমে যে স্থানাঙ্কতন্ত্র নির্বাচন করা হয়েছিল তাতে কোন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র না থাকা সত্ত্বেও সিন্দুকের লোকটি সাপেক্ষ মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র রয়েছে। এখন আমরা হয়তো অনুমান করতে পারি : মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব সব সময়ই একটি 'আপাতদৃষ্ট' (apparent) ঘটনা। আমরা হয়তো আরো ভাবতে পারি, বিদ্যমান মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রকারনির্বিশেষে সব সময়ই অপর একটি নির্দেশবস্তুপিণ্ড আমরা নির্বাচন করতে পারি : যে বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ কোন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব 'নেই'। এ কথা কিন্তু কোন ক্রমেই সমস্ত মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র সম্পর্কে সত্য নয়, সত্য শুধু বিশেষ অবয়ব সম্পন্ন ক্ষেত্রগুলি সম্পর্কে। উদাহরণ : এমন কোন নির্দেশবস্তুপিণ্ড নির্বাচন করা অসম্ভব যা থেকে বিচার করলে পৃথিবী

মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র সম্পূর্ণ রূপে অদৃশ্য হয়ে যায়।

পরিচ্ছেদ XVIIIতে ব্যাপক আপেক্ষিকতা নীতির বিরুদ্ধে যে যুক্তি উত্থাপন করেছিলাম কেন সে যুক্তি বিশ্বাসযোগ্য নয় সে কথা এখন আমরা বুঝতে পারবো। একথা নিশ্চয়ই সত্য যে ব্রেক কষার ফলে গাড়ির ভিতরকার পর্যবেক্ষক সম্মুখে একটি ঝাঁকুনি অনুভব করে এবং এই অনুভবে সে গাড়ির অসমরূপ গতি (বেগ হ্রাস পাওয়া) বুঝতে পারে। কিন্তু এই ঝাঁকুনিকে গাড়ির সত্যকারের ত্বরণে (বেগ হ্রাস হওয়া) আরোপ করতে কেউ তাঁকে বাধ্য করেনি। সে তার অভিজ্ঞতা এভাবেও ব্যাখ্যা করতে পারতো "আমার নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (গাড়ি) স্থায়ীভাবে স্থির অবস্থায় থাকে। এই বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব কিন্তু রয়েছে (যখন ব্রেক কষা হয়েছে সেই সময়)। অভিমুখ তার সম্মুখে এবং কাল সাপেক্ষ সেটা পরিবর্তী (variable)। এই ক্ষেত্রের প্রভাবে পৃথিবী সমেত বাঁধটা অসমরূপে এমন ভাবে গতিশীল যে পশ্চাৎমুখী প্রারম্ভিক গতিবেগ নিরবচ্ছিন্ন ভাবে হ্রাস প্রাপ্ত হচ্ছে।"

XXI

কি কি বিষয়ে চিরায়ত বলবিদ্যা এবং বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের ভিত্তি সন্তোষজনক নয়?

এর আগে আমরা কয়েকবার উল্লেখ করেছি যে চিরায়ত বলবিদ্যা সুরু হয় নিম্নলিখিত বিধি থেকে : অন্যান্য পদার্থকণাগুলি থেকে যথেষ্ট দূরে অবস্থিত পদার্থ-কণাগুলি নিরবচ্ছিন্ন ভাবে ঋজুরেখায় সমরূপ গতিসম্পন্ন থাকে কিম্বা নিরবচ্ছিন্ন ভাবে স্থিতিশীল থাকে। আমরা বারংবার এই দৃঢ় ঘোষণাও করেছি যে এই মূলগত বিধি শুধুমাত্র সেই সমস্ত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষই সত্য হতে পারে যেগুলি গতির কয়েকটি অদ্বিতীয় (unique) দশার অধিকারী এবং যেগুলি পরস্পর সাপেক্ষ সমরূপ স্থানান্তরণ গতিশীল। অন্য নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ এ বিধি সত্য নয়। সেই জন্য চিরায়ত বলবিদ্যা এবং বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ এই দুই তত্ত্বেই যে সমস্ত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ স্বীকৃত "প্রাকৃতিক বিধিগুলি" সত্য বলা যেতে পারে এবং যে সমস্ত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ এই বিধিগুলি সত্য নয়; এই দুটি গোষ্ঠীর ভিতরে বৈসাদৃশ্যের অস্তিত্ব আমরা বোধ করি।

কিন্তু চিন্তাধারা যার যুক্তিপূর্ণ সেই রকম কেউই বিষয়ের এই অবস্থায় সন্তুষ্ট থাকতে পারে না। তার প্রশ্ন: "কতগুলি নির্দেশ বস্তুপিণ্ডকে (কিংবা তাদের গতির দশাকে) অন্য বস্তুপিণ্ডগুলির তুলনায় (কিংবা তাদের গতির দশার তুলনায়) অগ্রাধিকার দেওয়া হয় কি করে? 'এই অগ্রাধিকারের কারণ কি'? এই প্রশ্ন দিয়ে আমি কি বোঝাতে চাইছি সেটা স্পষ্ট করে দেখানোর জন্য একটা উপমা ব্যবহার করবো।

একটি গ্যাস রেঞ্জের সামনে আমি দাঁড়িয়ে। রেঞ্জের উপর পাশাপাশি দুটো পাত্র রয়েছে। পাত্রগুলির সাদৃশ্য এত বেশী যে একটাকে আর একটা বলে ভুল হতে পারে। দুটোরই অর্ধেক অবধি জলে ভর্তি। আমি লক্ষ্য করছি একটা থেকে

অনবরত বাষ্প উঠছে। কিন্তু অন্যটা থেকে উঠছে না। যদি এর আগে কখনো গ্যাস রেঞ্জ কিম্বা পাত্র নাও দেখে থাকি তাহলেও ব্যাপারটাতে আমি আশ্চর্য বোধ করি। কিন্তু এখন যদি প্রথম পাত্রটির নীচে নীলচে রঙের দীপ্ত একটা কিছু দেখতে পাই অথচ দ্বিতীয়টির নীচে সেটা না দেখা যায় তা হলে আর আমি আশ্চর্য হই না, এমন কি আগে যদি কখনো গ্যাসের আগুন নাও দেখে থাকি তাহলেও। কারণ আমি শুধু তখন বলতে পারি বাষ্প নির্গত হবার কারণ ঐ নীলচে জিনিষটাই। অন্তত এ রকম হবার সম্ভাবনা রয়েছে। কিন্তু ঐ নীলচে জিনিষটা যদি কোন ক্ষেত্রেই না দেখি এবং যদি দেখতে পাই একটা নিরবচ্ছিন্ন ভাবে ধোঁয়া বার করছে অথচ অন্যটা করছে না, তা হলে যতক্ষণ পর্যন্ত দুটি পরিবেশে ভিন্ন আচরণের কোন কারণ খুঁজে না পাব ততক্ষণ পর্যন্ত আমি অসন্তুষ্ট আর আশ্চর্য হয়ে থাকবো।

অনুরূপভাবে মিথ্যাই চিরায়ত বলবিদ্যায় (কিংবা বিশিষ্ট অপেক্ষবাদে) বাস্তব এমন কিছু খুঁজি যার উপরে স্থানাঙ্কতন্ত্র K এবং K' সাপেক্ষ বিচারে বস্তুপিণ্ডগুলির ভিন্ন আচরণের কারণ আমি আরোপ করতে পারি।[1] এ আপত্তি নিউটনের নজরে এসেছিল। তিনি চেষ্টা করেছিলেন সে আপত্তিকে অসিদ্ধ প্রমাণ করতে, কিন্তু সফল হন নি। তবে ই. ম্যাক (E. Mach) ব্যাপারটা বুঝতে পেরেছিলেন সবচাইতে স্পষ্টভাবে। এই জন্যেই তিনি দাবি করেছিলেন বলবিদ্যাকে নূতন ভিত্তির উপর স্থাপন করতে হবে। এই আপত্তি দূর করা যায় সেই পদার্থবিদ্যার সাহায্যে যে পদার্থবিদ্যার সামঞ্জস্য থাকবে ব্যাপক আপেক্ষিকতার নীতির সঙ্গে। কারণ এই জাতীয় তত্ত্বের সমীকরণগুলি গতির অবস্থা নির্বিশেষে সমস্ত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ সত্য।

---

1. এ আপত্তি গুরুত্বপূর্ণ, আরো বিশেষ করে যখন নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের গতির অবস্থার চরিত্র এমন যে সে গতি রক্ষা করার জন্য কোন বহিরাগত নিমিত্ত (agency) প্রয়োজন হয় না। যেমন—যে ক্ষেত্রে নির্দেশবস্তুপিণ্ড সমরূপে ঘূর্ণায়মান।

XXII

ব্যাপক অপেক্ষবাদ থেকে গৃহীত কয়েকটি অনুমিতি (Inference)

পরিচ্ছেদ XX-এর বিচারে দেখা যায় ব্যাপক আপেক্ষিকতার নীতির সাহায্যে আমরা শুদ্ধ তাত্ত্বিক পদ্ধতিতে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ধর্ম নিরূপণ করতে পারি। উদাহরণ : অনুমান করা যাক আমরা একটি গ্যালিলীয় নির্দেশক বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ গ্যালিলীয় শাসনভুক্তিতে (Galileian domain) ঘটিত ক্রিয়া পদ্ধতি সম্পর্কে যে কোন প্রাকৃতিক ক্রিয়ার (process) স্থান, কাল, "ক্রিয়াপথ (course)" জানি। তাহলে শুদ্ধ তাত্ত্বিক প্রক্রিয়ার সাহায্যে (অর্থাৎ শুধুমাত্র গণনা করে) আমরা K সাপেক্ষ ত্বরিত নির্দেশবস্তুপিণ্ড K' থেকে দেখলে এই জানিত প্রাকৃতিক প্রক্রিয়া কি রকম দেখায় সেটা আবিষ্কার করতে সক্ষম হই। কিন্তু নতুন নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K' সাপেক্ষ মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব রয়েছে। সুতরাং আমাদের বিচার, অধীত (studied) প্রক্রিয়াকে মহাকর্ষীয়ক্ষেত্র কিভাবে প্রভাবিত করে সেটাও শিক্ষা দেয়।

উদাহরণ : আমরা জানতে পারলাম K সাপেক্ষ সমরূপে ঋজুরেখায় গতিশীল (গ্যালিলীয় বিধি অনুসারে) একটি বস্তুপিণ্ড, ত্বরিত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K' সাপেক্ষ (সিন্দুক), ত্বরিত এবং সাধারণভাবে বক্ররেখায় গতিশীল। এই ত্বরণ কিম্বা বক্রতা K' সাপেক্ষ বিদ্যমান মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের চলমান বস্তুপিণ্ডের উপর প্রভাবের অনুরূপ। মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রগুলি এইভাবে চলমান বস্তুপিণ্ডগুলির গতি প্রভাবিত করে : এ তথ্য জানা। সুতরাং এই বিচার থেকে আমরা নতুন কিছু পাই না।

কিন্তু একটি আলোকরশ্মির সম্পর্কে অনুরূপ বিচার করলে আমরা পাই মূলগত গুরুত্বপূর্ণ নূতন ফল। গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ এই

রকম একটি আলোকরশ্মি c গতিবেগে ঋজুরেখায় প্রেরিত হয়। খুব সহজে দেখানো সম্ভব ত্বরিত সিন্দুক (নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K') সাপেক্ষ সেই একই আলোকরশ্মি আর ঋজুরেখ নয়। এই থেকে আমাদের সিদ্ধান্ত: 'সাধারণত মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রগুলিতে আলোকরশ্মি বক্ররেখায় প্রেরিত হয়। দুদিক থেকে এই ফলের গুরুত্ব বিরাট'।

প্রথমত এর সঙ্গে বাস্তবের তুলনা করা যেতে পারে। যদিও এই প্রশ্ন বিস্তৃত-ভাবে পরীক্ষা করলে দেখা যায়, কার্যক্ষেত্রে আমরা ব্যবহার করতে পারি এই রকম মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র সম্পর্কে, ব্যাপক অপেক্ষবাদআদিষ্ট (required) আলোক রশ্মির বক্রতা অত্যন্তই অল্প তবুও আলোকরশ্মিগুলির সূর্যের পৃষ্ঠস্পর্শী আপতনে (grazing incidence) এই বক্রতার সম্ভাব্য পরিমাণ চাপের 1·7 সেকেন্ড (1·7 sec of arc)। এর অভিব্যক্তি হওয়া উচিত নিম্নলিখিত রূপ। কতক-গুলি স্থির তারকাকে পৃথিবী থেকে দেখলে সূর্যের কাছাকাছি মনে হয়, সুতরাং সূর্যের পূর্ণ গ্রহণের সময় সেগুলি দেখার উপযুক্ত। সূর্য যখন আকাশের অন্য অংশে অবস্থিত, তারকাগুলির তখনকার আপাতদৃষ্ট অবস্থানের তুলনায়, পূর্ণ-গ্রহণের সময় তারকাগুলিকে উপরে লিখিত পরিমাণে বহির্দিকে স্থানচ্যুত দেখানো উচিত। এই অবরোহী সিদ্ধান্ত (deduction) নির্ভুল না অন্য কিছু সেটা পরীক্ষা করা সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ একটি সমস্যা। এ সমস্যার দ্রুত সমাধান জ্যোতির্বিদদের কাছ থেকে আশা করা যায়।[1]

দ্বিতীয়ত, আমাদের ফল থেকে দেখা যায় ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে শূন্য-স্থানে আলোকের গতিবেগ সম্পর্কীয় বিধি কোন সীমাহীন সত্যতা দাবী করতে পারে না। এ বিধি কিন্তু বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের দুটি মূলগত অনুমানের একটি এবং এর আগে আমরা বারবার এ বিধি উল্লেখ করেছি। আলোক বিস্তারের গতিবেগের যখন অবস্থানের সঙ্গে পরিবর্তন হয়, শুধুমাত্র তখনই আলোকরশ্মি বক্র হতে পারে। আমরা এখন ভাবতে পারি, এর ফলশ্রুতি হিসাবে বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ এবং তার সঙ্গে পুরো অপেক্ষবাদই ধূলিশয্যা গ্রহণ করবে। কিন্তু ব্যাপারটা আসলে তা নয়। আমরা শুধুমাত্র সিদ্ধান্ত করতে পারি বিশুদ্ধ

---

1. রয়্যাল সোসাইটি এবং রয়্যাল এ্যাসট্রোনমিক্যাল সোসাইটির দ্বারা সজ্জিত দুটি অভিযানে গৃহীত তারকার আলোকচিত্রের সাহায্যে 19শে মে 1919 সালের সূর্যগ্রহণে তত্ত্ব আদিষ্ট আলোকের বিচ্যুতির অস্তিত্ব প্রথম প্রমাণিত হয়।

অপেক্ষবাদ সত্যতার সীমাহীন শাসনভুক্তি (domain) দাবী করতে পারে না। যতক্ষণ পর্যন্ত আমরা পরিঘটনার (আলোকের) উপর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রভাব অগ্রাহ্য করতে পারবো বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ শুধুমাত্র ততক্ষণ পর্যন্তই সত্য।

তত্ত্বের বিরোধীরা অনেক সময়ই তর্কক্ষেত্রে বলেছেন ব্যাপক অপেক্ষবাদ বিশিষ্ট অপেক্ষবাদকে সম্পূর্ণ পরাস্ত করেছে। বোধ হয় সেইজন্য উপযুক্ত তুলনার সাহায্যে এ বিষয়ের তথ্যগুলি আরো স্পষ্ট করা যুক্তিযুক্ত। বৈদ্যুৎগতিকীবিদ্যা বিকাশের আগে স্থিরবিদ্যুত (electrostatics) বিধিগুলিকে বিদ্যুৎ সম্পর্কীয় বিধি ভাবা হোত। বর্তমানে আমরা জানি যে, যেখানে বৈদ্যুতিক ভরগুলি পরস্পর সাপেক্ষ এবং স্থানাঙ্কতন্ত্র সাপেক্ষ সম্পূর্ণ স্থিতিশীল শুধুমাত্র সে ক্ষেত্রেই স্থির বৈদ্যুতিক বিচারের সাহায্যে নির্ভুলভাবে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র উপপাদন সম্ভব। এ সর্ত কিন্তু কখনোই কঠোরভাবে (strictly) বাস্তবায়িত হয় না। সে জন্য কি আমাদের এ কথা বলা যুক্তিযুক্ত হবে যে তড়িৎ গতিবিদ্যায় ম্যাক্সওয়েলের ক্ষেত্রসমীকরণগুলি স্থিরবিদ্যুৎবিদ্যাকে স্থানচ্যুত করেছে ? কিছুমাত্র নয়। স্থিরবিদ্যুৎবিদ্যা বিদ্যুৎগতি-বিদ্যার ভিতরে সীমিত ক্ষেত্র রূপে অবস্থান করছে। সময় সাপেক্ষ ক্ষেত্রগুলি যেখানে অপরিবর্তী (invariable) সেখানে বিদ্যুৎগতিবিদ্যার বিধিগুলি প্রত্যক্ষ ভাবে স্থিরবিদ্যুৎবিদ্যার বিধিগুলির পথিকৃৎ। কোন ভৌত তত্ত্বের পক্ষে স্বতঃত ব্যাপকতর তত্ত্বের পথ নির্দেশ করা এবং সে তত্ত্বের ভিতরে সীমিত ক্ষেত্র রূপে নিজে অবস্থান করার চাইতে সুন্দরতর কোন নিয়তি হতে পারে না।

আলোক প্রেরণ সম্পর্কে এখুনি বিচার করা উদাহরণে আমরা দেখেছি ব্যাপক অপেক্ষবাদ ভৌত প্রক্রিয়াগুলির গতিপথের উপর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রভাব, তত্ত্বের সাহায্যে আহরণ করার ক্ষমতা আমাদের দান করে। মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে এই প্রক্রিয়াগুলির বিধি আগে থাকতেই জানা। কিন্তু সবচাইতে আকর্ষণীয় : যে সমস্যা সমাধানের চাবিকাঠি ব্যাপক অপেক্ষবাদ থেকে পাওয়া যায় সেটা হোল মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র নিজে যে বিধিগুলি পালন করে সেই সম্পর্কে অনুসন্ধান বিষয়ে। এক মুহূর্তের জন্য এই আলোচনা করা যাক।

উপযুক্ত বস্তুপিণ্ড নির্বাচন করলে যে সমস্ত স্থান কাল ভুক্তির আচরণ গ্যালিলীয় রীতি সম্মত (আসন্ন রূপে approximately) অর্থাৎ যে সমস্ত ভুক্তিতে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র অনুপস্থিত ; সেগুলির সঙ্গে আমাদের পরিচয় আছে। এখন যদি আমরা ওই রকম একটি ভুক্তিকে যে কোন প্রকার গতিবেগের অধিকারী একটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K' এর প্রতি আরোপ (refer) করি তা হলে K' সাপেক্ষ একটি

মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব রয়েছে, এবং সেই মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র স্থান কাল সাপেক্ষ পরিবর্তী (variable)[1]। এই ক্ষেত্রের চরিত্র অবশ্য K' এর জন্য নির্বাচিত গতির উপর নির্ভর করবে। ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের সাধারণ বিধির, এই ভাবে প্রাপ্তব্য সমস্ত মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র সাপেক্ষ সন্তুষ্টি লাভ করা আবশ্যিক (must be satisfied)। যদিও সমস্ত মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র কোন ক্রমেই এ ভাবে সৃষ্টি করা যায় না তবুও আমরা আশা করতে পারি এই জাতীয় বিশেষ ধরণের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রগুলি থেকে মহাকর্ষ বিষয়ক সাধারণ বিধি উপপাদন সম্ভব হবে। এই আশা ফলবতী হয়েছে সব চাইতে সুন্দরভাবে। কিন্তু এই উদ্দেশ্য সম্পর্কে স্বচ্ছ দৃষ্টি এবং সত্যকারের সাফল্যের মাঝখানে একটি গুরুতর বাধা অতিক্রমের প্রয়োজন ছিল। যেহেতু এ সংকট বিষয়ের মূলে গভীর ভাবে প্রোথিত সেইজন্য এটা আমি পাঠকের কাছ থেকে গোপন করতে চাই না। স্থান-কাল সাংতত্যক চিন্তাধারার আরো বিস্তার আমাদের প্রয়োজন।

---

1. এটা পরিচ্ছেদ XX-এর আলোচনার সাধারণীকরণের একটি ফলশ্রুতি।

XXIII

একটি ঘূর্ণায়মান নির্দেশ বস্তু পিণ্ডের উপর অবস্থিত ঘড়ি ও মাপক দণ্ডের আচরণ।

এতক্ষণ পর্যন্ত আমি ইচ্ছা করেই ব্যাপক অপেক্ষবাদের ক্ষেত্রে স্থান এবং কাল সম্পর্কীয় উপাত্তের (data) ভৌত ব্যাখ্যা সম্পর্কে বলা থেকে নিজেকে বিরত রেখেছি। তার ফলে বিচারের ক্ষেত্রে একটু অবিন্যস্ত হবার (slovenlincss) দোষে আমি দোষী এবং বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ থেকে আমরা জানি এ দোষ কোন ক্রমেই গুরুত্বহীন কিংবা ক্ষমার যোগ্য নয়। সত্যিই এখন এ দোষ ক্ষালনের সময় হয়েছে। কিন্তু শুরুতেই বলে রাখছি এক্ষেত্রে পাঠকের ধৈর্য এবং বিমূর্ত চিন্তার ক্ষমতার কাছে আমার দাবী মোটেই কম নয়।

আবার আমরা শুরু করি সত্যকারের বিশেষ ক্ষেত্র থেকে। আগেও আমরা বার বার এগুলি ব্যবহার করেছি। এমন একটি স্থান কাল ভুক্তি বিচার করা যাক যেখানে নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ কোন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব নেই এবং ধরে নেওয়া যাক K-এর গতির অবস্থার উপযুক্ত নির্বাচন হয়েছে। তা হলে বিবেচিত ভুক্তি সাপেক্ষ K একটি গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড এবং বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের ফলগুলি K সাপেক্ষ সত্য। আরো অনুমান করা যাক সেই একই ভুক্তি, K সাপেক্ষ সমরূপে ঘূর্ণায়মান দ্বিতীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K'-এ আরোপিত (referred) হয়েছে। আমাদের ধারণাগুলি স্থিরভাবে স্থাপন করার জন্য আমরা কল্পনা করবো K' এর অবয়ব একটি গোল চাকতির মত এবং সেটা নিজ তলে (plane) নিজ কেন্দ্রের সর্বপার্শ্বে সমরূপে ঘূর্ণায়মান। K' চাকতির উপর উৎকেন্দ্রিক ভাবে (eccentrically) উপবিষ্ট একজন পর্যবেক্ষক ব্যাসার্ধের বহির্মুখী ক্রিয়াশীল একটি বল অনুভব করেন। প্রারম্ভিক নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ স্থিতিশীল একজন পর্যবেক্ষক এ বোধের ব্যাখ্যা করবেন জড়ত্বের

ক্রিয়ারূপে (centrifugal force, কেন্দ্রবিমুখ বল)। কিন্তু চাকতির উপরের একজন পর্যবেক্ষক নিজের চাকতিকে নির্দেশ বস্তুপিণ্ড ভাবতে পারেন এবং ভাবতে পারেন সেটা "স্থিতাবস্থায়" রয়েছে (at rest)। ব্যাপক অপেক্ষবাদ নীতির ভিত্তিতে তাঁর এ চিন্তার যৌক্তিকতা রয়েছে। তিনি বিচার করেন : তাঁর নিজের উপর ক্রিয়াশীল বল এবং চাকতি সাপেক্ষ স্থিতিশীল সমস্ত বস্তুপিণ্ডের উপর ক্রিয়াশীল বলই, একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ক্রিয়া। তবুও এই মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের স্থানিক বণ্টন (space distribntion) এমন যে নিউটনীয় মহাকর্ষীয় তত্ত্বের ভিত্তিতে সেটা সম্ভব হোত না।[1] পর্যবেক্ষকের বিশ্বাস ব্যাপক অপেক্ষবাদে, সুতরাং এ বিষয়ে তিনি বিচলিত হন না। তিনি বিশ্বাস করেন এমন একটি মহাকর্ষীয় বিধি গঠণ করা সম্ভব যে বিধি শুধু তারকার গতিই নির্ভুল ভাবে ব্যাখ্যা করবে তাই নয় বলের, যে ক্ষেত্র তিনি নিজে অনুভব করছেন সেটাও ব্যাখ্যা করবে। তাঁর এ বিশ্বাসে কোন ভুল নেই।

পর্যবেক্ষক তাঁর বৃত্তাকার চাকতির উপর ঘড়ি এবং মাপক দণ্ড দিয়ে পরীক্ষাকার্য চালাচ্ছেন। তাঁর ইচ্ছা এই কাজ করার সময় গোল চাকতি K' সাপেক্ষ কাল এবং স্থান বিষয়ক উপাত্তের (data) অর্থের নির্ভুল সংজ্ঞা নির্ধারণ করা। এই সংজ্ঞাগুলির ভিত্তি হতে হবে তাঁর পর্যবেক্ষণ। এই উদ্যোগে তাঁর অভিজ্ঞতা কি হবে?

শুরুতে তিনি অভিন্ন গঠনের দুটি ঘড়ির একটিকে গোল চাকতির কেন্দ্রে এবং একটিকে কিনারায় এমন ভাবে স্থাপন করেন যে ঘড়িগুলি থাকে চাকতি সাপেক্ষ স্থিতিশীল। এখন আমরা নিজেদের প্রশ্ন করি অনাবর্তনশীল গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K-এর দৃষ্টিভঙ্গি থেকে দুটি ঘড়িই কি একহারে চলমান? এই বস্তুপিণ্ড থেকে বিচার করলে চাকতির কেন্দ্রে অবস্থিত ঘড়ির কোন গতিবেগ নেই অথচ ঘূর্ণনের দরুণ চাকতির কিনারায় অবস্থিত ঘড়ি K সাপেক্ষ গতিশীল। পরিচ্ছেদ XII তে প্রাপ্ত একটি বিচার ফল (result) অনুসারে শেষোক্ত ঘড়ির গতির হার চাকতির কেন্দ্রে অবস্থিত ঘড়ির গতির হারের চাইতে স্থায়ীভাবে কম : অবশ্য K থেকে পর্যবেক্ষণ করলে। আমরা যদি কল্পনা করি চাকতিটার কেন্দ্রে ঘড়ির পাশে একজন পর্যবেক্ষক বসে আছেন তাহলে একই অভিক্রিয়া (effect) তিনি লক্ষ্য করবেন : একথা স্বতঃপ্রতীয়মান। সুতরাং আমাদের ঘূর্ণায়মান চাকতির উপরে কিম্বা ব্যাপারটাকে

---

1. ক্ষেত্রটি কেন্দ্রে অদৃশ্য হয় এবং আমরা যত বহির্মুখী অগ্রসর হই কেন্দ্রের সঙ্গে দূরত্বের আনুপাতিক হারে ক্ষেত্রও তত বৃদ্ধি পায়।

আরও সাধারণ করলে, যে কোন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে, ঘড়ি তার অবস্থান (স্থিতিশীল অবস্থায়) অনুসারে কম কিম্বা বেশী দ্রুত চলবে। সেই জন্য নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ স্থিতিশীল অবস্থায় সজ্জিত একাধিক ঘড়ির সাহায্যে কালের যুক্তিসঙ্গত সংজ্ঞা পাওয়া সম্ভব নয়। এই রকম ক্ষেত্রে যখন আমরা আমাদের আগেকার যুগপত্তার সংজ্ঞা প্রয়োগ করতে চেষ্টা করি তখন একই ধরণের বাধা উপস্থিত হয়। কিন্তু এ প্রশ্ন নিয়ে আমি আর অগ্রসর হতে চাই না।

তা ছাড়া এই অবস্থায় স্থান নির্দেশকের সংজ্ঞা নির্ধারণ একাধিক অনতিক্রমণীয় বাধার সম্মুখীন হয়। পর্যবেক্ষক যদি তাঁর প্রমাণ মাপক দণ্ড (যেটি চাকতির ব্যাসার্ধের তুলনায় ছোট) স্পর্শরেখীয় (tangentially) ভাবে চাকতির কিনারায় প্রয়োগ করেন তা হলে গ্যালিলীয় তন্ত্র থেকে বিচার করলে দণ্ডের দৈর্ঘ্য হবে একের চাইতে কম। পরিচ্ছেদ XII অনুসারে এর কারণ, চলমান বস্তুপিণ্ডগুলি গতির অভিমুখে হ্রস্বতর হয়। অন্যদিকে K থেকে বিচার করলে চাকতির ব্যাসার্ধের অভিমুখে প্রয়োগে মাপক দণ্ড হ্রস্বতর হওয়া বোধ করবে না। তা হলে পর্যবেক্ষক যদি প্রথমে চাকতির পরিধি তাঁর মাপক দণ্ড দিয়ে মাপেন এবং পরে চাকতির ব্যাস মাপেন তাহলে একটাকে অন্যটি দিয়ে ভাগ করলে ভাগ ফল হিসাবে, পরিচিত $\pi = 3.14\cdots\cdots$ তিনি পাবেন না, পাবেন একটি বৃহত্তর রাশি[1]। অথচ K সাপেক্ষ স্থিতিশীল চাকতির ক্ষেত্রে এই প্রক্রিয়াতে তিনি নির্ভুল π পাবেন। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির প্রতিজ্ঞা ঘূর্ণায়মান চাকতির ক্ষেত্রে নির্ভুল সত্য হতে পারে না। এমন কি সাধারণ ভাবে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রেও সত্য হতে পারে না। অন্তত আমরা যদি প্রতিটি অবস্থানে এবং দিগবিন্যাসে (orientation) দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 1 (এক) আরোপ করি···। সুতরাং ঋজু রেখা সম্পর্কীয় ধারণাও অর্থহীন হয়ে যায়। অতএব বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ আলোচনার সময় ব্যবহৃত পদ্ধতির সাহায্যে চাকতি সাপেক্ষ নির্দেশক x, y, z এর নির্ভুল সংজ্ঞা নির্ধারণ করতে পারি না এবং যতক্ষণ পর্যন্ত না ঘটনাগুলির নির্দেশক এবং কালের সংজ্ঞা পাওয়া যায় ততক্ষণ পর্যন্ত যে সমস্ত প্রাকৃতিক বিধিতে এগুলি উত্থাপন করা হয় সে বিধিগুলির উপরও কোন নির্ভুল

---

1. এই বিচারে সব সময়ই আমাদের নির্দেশ বস্তুপিণ্ড হিসাবে গ্যালিলীয়তন্ত্র (ঘূর্ণায়মান নয়) K ব্যবহার করতে হবে। কারণ শুধুমাত্র K সাপেক্ষ আমরা বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের সত্যতা অনুমান করতে পারি। (K' সাপেক্ষ একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র বর্তমান।)

অর্থ আরোপ করতে পারি না।

সুতরাং ব্যাপক অপেক্ষবাদের ভিত্তিতে গৃহীত আমাদের পূর্ব সিদ্ধান্তগুলি সম্পর্কে সন্দেহের অবকাশ রয়েছে বলে মনে হতে পারে। আসলে ব্যাপক অপেক্ষবাদের স্বীকার্যগুলি নির্ভুল ভাবে প্রয়োগের ক্ষমতা লাভের জন্য আমাদের সূক্ষ্ম একটা বাঁক নেয়া আবশ্যক। নীচের কয়েকটি অনুচ্ছেদে আমি পাঠককে সেইজন্য প্রস্তুত করবো।

XXIV

ইউক্লিডীয় এবং অনউক্লিডীয় সাংতত্যক

আমার সামনে একটি মর্মর পাথরের টেবিলের উপরিতল বিস্তৃত রয়েছে। আমি এই টেবিলের উপর যে কোন একটি বিন্দু থেকে অন্য যে কোন বিন্দুতে যেতে পারি : অবিছিন্ন ভাবে, "প্রতিবেশী" আর একটি বিন্দুতে গিয়ে এবং এই পদ্ধতির বারংবার (অনেক বার) পুনরাবৃত্তি করে কিম্বা অন্য কথায় "লম্ফ" না দিয়ে এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে যেতে যেতে। আমি নিশ্চিত যে এখানে আমি "প্রতিবেশী" এবং "লম্ফ" বলতে কি বোঝাতে চাইছি সেটা পাঠক যথেষ্ট স্পষ্ট ভাবে বুঝতে পারবেন (যদি তিনি অত্যধিক পাণ্ডিত্যাভিমানী না হন)। উপরিতলের এই ধর্মকে আমরা প্রকাশ করি একটি সাংতত্যকরূপে এর বর্ণনা দিয়ে।

এখন, কল্পনা করা যাক একই দৈর্ঘ্যের বহুসংখ্যক ছোট ছোট দণ্ড তৈরী করা হয়েছে। মর্মর ফলকের বিস্তারের তুলনায় সেগুলির দৈর্ঘ্য কম। সেগুলির দৈর্ঘ্য সমান বলতে আমি বুঝি একটির উপর আর একটি রাখলে প্রান্তগুলি অধিক্রমণ (overlapping—আচ্ছাদিত করেও প্রসারিত হওয়া) করবে না। তারপর আমরা এই ছোট দণ্ডগুলির চারটিকে মর্মর ফলকের উপর এমন ভাবে সাজাই যে একটি চতুর্ভুজ সৃষ্টি হয় (a square—একটি বর্গক্ষেত্র) তার কর্ণদুটি (diagonal) দৈর্ঘ্যে সমান। কর্ণগুলির সমতা বিষয়ে নিশ্চিত হবার জন্য আমরা ছোট একটি পরীক্ষণ দণ্ড (testing rod) ব্যবহার করি। এই বর্গক্ষেত্রের সঙ্গে আমরা আরো একাধিক সমরূপ বর্গক্ষেত্র যোগ করি। এই বর্গক্ষেত্রগুলির প্রতিটির একটি দণ্ড এবং প্রথম বর্গক্ষেত্রের একটি দণ্ড যৌথ (common)। এই একই প্রক্রিয়া আমরা প্রতিটি বর্গক্ষেত্র দিয়েই করতে থাকি। শেষ পর্যন্ত সম্পূর্ণ মর্মর ফলকটি বর্গক্ষেত্র দিয়ে আবৃত হয়ে যায়। ব্যবস্থাটা এমন যে একটি বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি প্রান্তিক পার্শ্বই দুটি

বর্গক্ষেত্রের অংশ এবং প্রতিটি প্রান্তকোণই (corner) চারটি বর্গক্ষেত্রের অংশ।

বৃহত্তম সংকটে পতিত না হয়েও আমরা এই ক্রিয়া চালিয়ে যেতে পারি: ব্যাপারটা সত্যই আশ্চর্যজনক। আমাদের শুধু চিন্তা করা দরকার নিম্নলিখিত বিষয়ে। কোন মুহূর্তে যদি তিনটি বর্গক্ষেত্র এক বিন্দুতে মিলিত হয় তাহলে চতুর্থ বর্গক্ষেত্রের দুটি প্রান্তিক পার্শ্ব পূর্বেই স্থাপিত এবং তার ফলে বর্গক্ষেত্রটির বাকি দুটি পার্শ্বের ব্যবস্থাও সম্পূর্ণ নির্ধারিত। আমি কিন্তু এখন আর চতুর্ভুজটির বিন্যাস এমন ভাবে করতে পারছি না যার ফলে দুটি কর্ণ সমান হয়। তারা যদি স্বেচ্ছায় সমান হয় তা হলে সেটা মর্মর ফলক এবং ক্ষুদ্র দণ্ডের বিশেষ আনুকূল্য। তার জন্য আমি শুধু কৃতজ্ঞবিস্ময় বোধ করতে পারি। গঠনকার্য যদি সফল হতে হয় তা হলে এরকম বহু বিস্ময়কর অভিজ্ঞতা আমাদের হতেই হবে।

সবকিছু যদি বাধাহীন ভাবে চলে তা হলে আমি, বলি যে ক্ষুদ্র দণ্ড "দূরত্ব" (line-interval—রেখ ব্যবধান) হিসাবে ব্যবহার করা হয়েছে সেটি সাপেক্ষ মর্মর ফলকের বিন্দুগুলি একটি ইউক্লিডীয় সাংততাক গঠন করে। একটি বর্গক্ষেত্রের একটি প্রান্তকোণকে (corner) প্রারম্ভ (origin) রূপে নির্বাচন করলে এই প্রারম্ভ সাপেক্ষ একটি বর্গক্ষেত্রের অন্য প্রতিটি প্রান্তকোণের বৈশিষ্ট্যকে আমি দুটি সংখ্যায় প্রকাশ করতে পারি। প্রারম্ভ বিন্দু থেকে শুরু করে বিচার্য বর্গক্ষেত্রের প্রান্তকোণে পৌঁছুতে হলে আমাকে শুধু বলতে হবে যখন আমি "ডাইনে" চলেছি তখন এবং যখন আমি উপরে চলেছি তখন কতগুলি দণ্ড আমাকে অতিক্রম করতে হবে। এই দুটি সংখ্যা তা হলে "কার্তেজীয় স্থানাঙ্কতন্ত্র" (Catesian co-ordinate system) সাপেক্ষ প্রান্তকোণের "কার্তেজীয় স্থানাঙ্ক"। এটা নির্ধারিত হয় ক্ষুদ্র দণ্ডের বিন্যাসের সাহায্যে।

এই বিমূর্ত পরীক্ষার নিম্নলিখিত পরিবর্তন করে আমরা উপলব্ধি করি: নিশ্চয় এমন কতগুলি ক্ষেত্র থাকবে যেখানে এ পরীক্ষা সফল হবে না। আমরা অনুমান করতে পারি তাপমাত্রা (temperature) বৃদ্ধির অনুপাতে দণ্ডগুলি "প্রসারিত (expand)" হয়। মর্মর ফলকের মাঝখানটা আমরা গরম করি। কিন্তু সীমারেখা (periphery) গরম করি না। এ ক্ষেত্রে টেবিলের যে কোনো স্থানে ক্ষুদ্র দুটি দণ্ডের সমাপতন তবুও সম্ভব। কিন্তু এই কারণে গরম করার সময় বর্গক্ষেত্র গঠনে গোলমাল বাধবে কারণ: টেবিলের কেন্দ্রীয় এলাকায় ক্ষুদ্র দণ্ডগুলি প্রসারিত হয় কিন্তু বাইরের দিকে হয় না।

একক রূপে সংজ্ঞিত (defined) ক্ষুদ্র দণ্ডগুলি সাপেক্ষ মর্মর ফলকটি আর

ইউক্লিডীয় সাংততাক নয় এবং সেগুলির সাহায্যে প্রত্যক্ষ ভাবে কার্তেজীয় স্থানাঙ্কের সংজ্ঞা নির্ণয় করার ক্ষমতা আর আমাদের নেই। কারণ উপরে উল্লেখ করা গঠন কার্য আর সম্ভব নয়। কিন্তু যেহেতু এমন অন্য অনেক বস্তু রয়েছে যেগুলি টেবিলের তাপমাত্রার প্রভাবে ক্ষুদ্র দণ্ডগুলির মত সমরূপে প্রভাবিত হয় না (কিম্বা হয়তো একেবারেই প্রভাবিত হয় না) সেজন্য মর্মর ফলক একটি "ইউক্লিডীয় সাংততাক", খুব স্বাভাবিক ভাবেই এমত পোষণ করা সম্ভব। দৈর্ঘ্য মাপার কিংবা দৈর্ঘ্য তুলনা করার আরও সূক্ষ্ম সর্ত আরোপ করে এ কাজ সন্তোষজনক ভাবে করা যায়।

কিন্তু যদি অসমভাবে উত্তপ্ত মর্মর ফলকের উপর স্থাপিত সর্বপ্রকার (অর্থাৎ প্রত্যেক পদার্থ দিয়ে গঠিত) দণ্ড তাপমাত্রার প্রভাব সাপেক্ষ 'একই রকম' আচরণ করতো এবং যদি তাপমাত্রার ক্রিয়া আবিষ্কার করার জন্য উপরে বিবৃত পরীক্ষা-গুলিতে যে রকম করা হয়েছে সেই রকম ভাবে দণ্ডগুলির জ্যামিতিক আচরণ বিচার ছাড়া তাপমাত্রার ক্রিয়া আবিষ্কারের অন্য কোন উপায় না থাকতো, তা হলে আমাদের সব চাইতে ভাল পরিকল্পনা হোত দূরত্ব 'এক'কে ফলকের উপরের দুটি বিন্দুতে আরোপ করা। অবশ্য যদি দণ্ডগুলির একটির প্রান্তগুলির এই দুটি বিন্দুতে সমাপতন ঘটানো যেত। কারণ আমাদের পদ্ধতি যদি সব চাইতে স্থূল মাত্রায় যাদৃচ্ছিক না হয় তাহলে কি করে আমরা দূরত্ব নির্ণয় করতে পারি? কার্তেজীয় নির্দেশক পদ্ধতি তা হলে পরিত্যাগ করতে হবে এবং এমন একটি পদ্ধতি প্রতি-স্থাপন করতে হবে, যে পদ্ধতি অনমনীয় বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ ইউক্লিডীয় জ্যামিতির সত্যতা স্বীকার করে না।[1] পাঠক লক্ষ্য করবেন এখানে বিবৃত পরিস্থিতি ব্যাপক অপেক্ষবাদের সাধারণ স্বীকৃতি দ্বারা আনীত পরিস্থিতির অনুরূপ (পরিচ্ছেদ XXIII)।

---

1. গণিতবিদরা আমাদের এই সমস্যায় পড়েছেন নিম্নলিখিত রূপে। আমাদের যদি ইউক্লিডীয় ত্রিমাত্রিক স্থানে একটি উপরিতল থাকে (যেমন উপবৃত্তজ—ellipsoid) তা হলে এই উপরিতলের জন্য একটি দ্বিমাত্রিক জ্যামিতির অস্তিত্ব রয়েছে। ঠিক যেমন থাকে একটি সমতল পৃষ্ঠের জন্য। গাউসের (Gauss) প্রচেষ্টা ছিল—উপরিতলটি একটি ত্রিমাত্রিক সাংততাকের অংশ—এই তথ্য ব্যবহার না কোরে মূল নিয়ম (first principle) থেকে অগ্রসর হয়ে এই দ্বিমাত্রিক জ্যামিতির বিষয়ে বিচার করা। আমরা যদি পৃষ্ঠতলে অনমনীয় দণ্ডের সাহায্যে

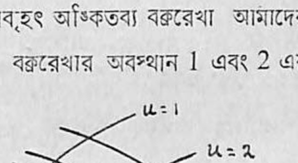
গঠন কার্য কল্পনা করি, (উপরের লেখায় মর্মর ফলকের সাহায্যে যে রকম করা হয়েছিল) তা হলে আমরা দেখবো, যে বিধিগুলি এখানে সত্য সেগুলির সঙ্গে ইউক্লিডীয় সমতল জ্যামিতির ভিত্তিতে গঠিত বিধির পার্থক্য রয়েছে। দণ্ডগুলি সাপেক্ষ পৃষ্ঠটি ইউক্লিডীয় সাংতত্যক নয় এবং আমরা 'পৃষ্ঠতলে' কার্তেজীয় স্থানাঙ্ক সংজ্ঞিত (define) করতে পারি না। গাউস এমন একটা নীতির নির্দেশ দিয়েছিলেন যার সাহায্যে আমরা পৃষ্ঠতলের জ্যামিতিক সম্পর্ক বিচার করতে পারি এবং এইভাবে তিনি বহুমাত্রিক অনিউক্লিডীয় 'সাংতত্যক' বিচারে রীম্যানের (Ricmann) পদ্ধতির দিকে পথ নির্দেশ করেছিলেন। সুতরাং ব্যাপক অপেক্ষবাদের স্বীকৃতিগুলি যার পথিকৃৎ, সেই প্রথাগত সমস্যাগুলি (formal problems) গণিতবিদরা অনেক আগেই সমাধান করেছিলেন।

XXV

গাউসীয় স্থানাঙ্ক সমূহ

(Gaussian Co-ordinates)

গাউসের মতানুসারে, নিম্নলিখিত উপায়ে, এই সমস্যা বিচারের জ্যামিতিক এবং বিশ্লেষণ মূলক যুক্ত পদ্ধতিতে পোঁছানো সম্ভব। আমরা টেবিলের উপরিতলে অঙ্কিত কয়েকটি যাদৃচ্ছিক বক্ররেখাতন্ত্র কল্পনা করি (চিত্র 4 দেখুন)। এগুলির আমরা নামকরণ করছি u বক্ররেখা এবং এর প্রত্যেকটিকে আমরা নির্দেশ করি একটি সংখ্যা দিয়ে। বক্ররেখা $u=1$, $u=2$, $u=3$ এগুলি চিত্রে অঙ্কিত। $u=1$, $u=2$ এই দুটি বক্ররেখার ভিতরে সংখ্যায় অসীমবৃহৎ অঙ্কিতব্য বক্ররেখা আমাদের অবশ্যই কল্পনা করতে হবে। কল্পিত প্রতিটি বক্ররেখার অবস্থান 1 এবং 2 এর ভিতরে অবস্থিত একটি বাস্তব সংখ্যার অনুরূপ। আমাদের তা হলে রয়েছে একটি "অসীম ঘনত্ব" সম্পন্ন u বক্ররেখা তন্ত্র। সেই তন্ত্র উপরিতলের সম্পূর্ণটা আবৃত করছে। এই u-বক্ররেখা-গুলি কোন ক্রমেই পরস্পরকে প্রতিচ্ছেদ (intersect) করতে পারবে না। এবং উপরিতলের প্রতিটি বিন্দুর ভিতর দিয়ে অবশ্যই একটি এবং একমাত্র একটি বক্ররেখাই গমন করতে পারবে। সুতরাং মর্মর ফলকের উপরিতলের প্রতিটি বিন্দু সাপেক্ষ u-এর একটি নিভুর্ল নিশ্চিত মূল্যাঙ্ক রয়েছে। এইভাবে আমরা উপরিতলের উপর অঙ্কিত একটি v বক্ররেখাতন্ত্র কল্পনা করতে পারি। এগুলিও u বক্ররেখার মত একই সর্তসমূহ পালন করে এবং অনুরূপভাবে তাদের উপর সংখ্যা আরোপ করা হয়েছে। তাদের আকারও একই রকম যাদৃচ্ছিক হতে পারে। এ থেকে বলা যায় টেবিলের উপরিতলের প্রতিটি বিন্দুর অধিকারেই



চিত্র 4

u এবং v-এর এক একটি মূল্যাংক রয়েছে। এই দুটি সংখ্যার আমরা নাম দেব টেবিলের উপরিতলের স্থানাংক (গাউসীয় স্থানাংক), উদাহরণ : অংকনে P বিন্দুর রয়েছে গাউসীয় স্থানাঙ্ক $u=3$, $v=1$ তা হলে উপরিতলে সান্নিধ্যে অবস্থিত দুটি বিন্দু P-এবং P' নিম্নলিখিত স্থানাংক গুলির অনুরূপ :

$$P: \quad u, v$$

$$P': \quad u+du, \ v+dv$$

এক্ষেত্রে du এবং dv অত্যন্ত ক্ষুদ্র দুটি সংখ্যা নির্দেশ করে। একই ভাবে অতি ক্ষুদ্র একটি দণ্ড নিয়ে মাপা P এবং P' এর অন্তবর্তী দূরত্ব (line-interval রেখ ব্যবধান) অতিক্ষুদ্র সংখ্যা ds দিয়ে আমরা নির্দেশ করতে পারি। তা হলে গাউসের মতানুসারে আমরা পাই :

$$ds^2 = g_{11}du^2 + 2g_{12}dudv + g_{22}dv^2$$

এক্ষেত্রে g_{11}, g_{12}, g_{22} রাশিগুলি নির্ভুল নিশ্চিত প্রণালীতে (way) u এবং v এর উপর নির্ভরশীল। g_{11}, g_{12}, g_{22} রাশিগুলি u বক্ররেখা এবং v বক্ররেখা সাপেক্ষ দণ্ডগুলির আচরণ নির্ধারিণ করে। সুতরাং তারা টেবিলের উপরিতল সাপেক্ষ আচরণও নির্ধারিণ করে। যে ক্ষেত্রে মাপনদণ্ড সাপেক্ষ, বিবেচিত উপরিতলের (surface considered) বিন্দুগুলি একটি ইউক্লিডীয় সাংতত্যক গঠন করে কিন্তু একমাত্র সেইখানেই u বক্ররেখা এবং v বক্ররেখা অংকন সম্ভব এবং তাদের উপর এমন সংখ্যা আরোপ করা সম্ভব যে বিনা দ্বিধায় আমরা পাই—

$$ds^2 = du^2 + dv^2$$

এই সর্তগুলি সাপেক্ষ ইউক্লিডীয় জ্যামিতির অর্থে u-বক্ররেখা এবং v-বক্ররেখাগুলি ঋজু রেখা এবং তারা পরস্পর লম্ব সম্পর্কীয়। এক্ষেত্রে গাউসীয় স্থানাঙ্কগুলি কার্তেজীয় স্থানাঙ্ক মাত্র। এ তথ্য স্পষ্ট যে গাউস্ স্থানাঙ্কগুলি বিবেচিত উপরিতলের বিন্দুগুলির সঙ্গে দু কেতা (two sets) সংখ্যার সংযোগ ভিন্ন আর কিছুই নয়। এই সংযোগের চরিত্র এমন যে পারস্পরিক সামান্য পার্থক্য সম্পন্ন

সাংখ্যিক মূল্যাংকগুলি "স্থানে (in space)" নিকটবর্তী বিন্দুগুলির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট।

এ পর্যন্ত যে সমস্ত বিচার করা হয়েছে সেগুলি দ্বিমাত্রিক সাংতত্যক সম্পর্কে সত্য কিন্তু গাউসীয় পদ্ধতি ত্রিমাত্রিক, চার মাত্রিক ততোধিক মাত্রা বিশিষ্ট সাংতত্যকেও প্রয়োগ করা চলে। উদাহরণ : যদি ধরে নেওয়া যায় একটি চার মাত্রিক সাংতত্যক পাওয়া সম্ভব তা হলে নিম্নলিখিত উপায়ে আমরা তার প্রতিরূপ নির্মাণ করতে পারি। প্রতিটি বিন্দুর সঙ্গে আমরা যাদৃচ্ছিকরূপে যুক্ত করি চারটি সংখ্যা : x_1, x_2, x_3 এবং x_4। এই সংখ্যাগুলি "স্থানাংক" নামে পরিচিত। সন্নিহিত বিন্দুগুলি স্থানাংকগুলির নিকটবর্তী মূল্যাংকের অনুরূপ। একটি দূরত্ব ds যদি সন্নিহিত দুটি বিন্দু P এবং P'-এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট হয়, এই দূরত্ব যদি মাপনযোগ্য এবং ভৌত দৃষ্টিভঙ্গি থেকে উত্তম সংজ্ঞা সম্পন্ন হয় তা হলে নিম্নলিখিত সংকেত সত্য :

$$ds^2 = g_{11}dx_1^2 + 2g_{12}dx_1dx_2 \cdots\cdots + g_{44}dx_4^3$$

এ ক্ষেত্রে g_{11} ইত্যাদি রাশির মূল্যাংক সাংতত্যকে অবস্থান অনুযায়ী পরিবর্তী (varies)। শুধু মাত্র সাংতত্যকটি যখন ইউক্লিডীয় তখনই $x_1 \cdots\cdots x_4$ স্থানাংকগুলিকে সাংতত্যকের বিন্দুগুলির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট করা সম্ভব। তখন আমরা পাই শুধুমাত্র :

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$$

এ ক্ষেত্রে সম্পর্কগুলি চতুর্মাত্রিক সাংতত্যকে সত্য। ত্রিমাত্রিক সাংতত্যকের মাপনে যা সত্য এগুলি তার অনুরূপ।

ds^2 সম্পর্কে যে গাউসীয় বিচার আমরা উপরে উল্লেখ করেছি সেটা কিন্তু সব সময় সম্ভব নয়। এটা শুধু তখনই সম্ভব যখন বিচার্য সাংতত্যকের যথেষ্ট ক্ষুদ্র অংশগুলিকে ইউক্লিডীয় সাংতত্যক রূপে বিচার করা যায়। উদাহরণ : টেবিলের মর্মর ফলক এবং তাপমাত্রার স্থানীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে এর সত্যতা স্পষ্ট প্রতীয়মান। ফলকের ক্ষুদ্র অংশের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা কার্যত স্থির। সেইজন্য দণ্ডগুলির জ্যামিতিক আচরণ ইউক্লিডীয় জ্যামিতির বিধি অনুসারে যা হওয়া উচিত

'প্রায়' তাই। সুতরাং আগের পরিচ্ছেদে বর্গক্ষেত্র গঠনে যে খুঁত ছিল সে খুঁত এই গঠন কার্য টেবিলের উপরিতলের অনেকটা অংশে বিস্তৃত না হওয়া পর্যন্ত দৃশ্যমান হয় না।

নিম্নলিখিত উপায়ে আমরা ব্যাপারটার সার সংক্ষেপ করতে পারি: গাউস সাধারণ ভাবে সাংতত্যকের গাণিতিক বিচারের একটি পদ্ধতি আবিষ্কার করেছিলেন। সে পদ্ধতিতে "আকার সম্পর্ক" (সন্নিকটবর্তী বিন্দুগুলির দূরত্ব) (size relation) সংজ্ঞিত হয়েছে। সাংতত্যকের প্রতিটি বিন্দুর প্রতি সাংতত্যকের যে কটি মাত্রা ঠিক সেই কটি সংখ্যা (গাউসীয় স্থানাঙ্ক) আরোপ করা হয়। একাজ করা হয় এমন ভাবে যে প্রতিটি নির্দেশে (assignment) একটি অর্থই আরোপ করা সম্ভব এবং যে সংখ্যাগুলির (গাউসীয় স্থানাঙ্ক) ভিতরে অনিশ্চিত অতি ক্ষুদ্র পার্থক্য বর্তমান সেগুলিকে সন্নিকটবর্তী বিন্দুতে আরোপ করা হয়। গাউসীয় স্থানাঙ্ক তন্ত্র কার্তেজীয় স্থানাঙ্কতন্ত্রের যুক্তিভিত্তিক সাধারণীকরণ। অনিউক্লিডীয় সাংত্যতকেও এটা প্রযোজ্য কিন্তু এ প্রয়োগ তখনই সম্ভব যখন সংজ্ঞিত "আকার" কিংবা "দূরত্ব" সাপেক্ষ বিচার্য সাংতত্যকের ক্ষুদ্র অংশগুলির আচরণের চরিত্র এমন হয় যে: আমাদের দৃষ্টিপথে সাংতত্যকের অংশ যত ছোট তার আচরণও ইউক্লিডীয় তন্ত্রের তত নিকট।

XXVI

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের স্থানকাল সাংতত্যকের ইউক্লিডীয় সাংতত্যকরূপে বিচার

পরিচ্ছেদ XVII-তে আমরা মিনকাউস্কির চিন্তাধারার অস্পষ্ট ইঙ্গিত দিয়েছিলাম। বর্তমান অবস্থায় আমরা আরো স্পষ্টভাবে সে চিন্তনের রূপ দিতে পারি। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ অনুসারে চারমাত্রিক স্থান কাল সাংতত্যকের বিবরণের জন্য কতকগুলি স্থানাঙ্কতন্ত্রকে অগ্রাধিকার দেওয়া হয়। এগুলির নাম আমরা দিয়েছিলাম "গ্যালিলীয় স্থানাঙ্কতন্ত্র"। এই তন্ত্রগুলি সাপেক্ষ যে চারটি স্থানাঙ্ক x, y, z, t একটি ঘটনা কিম্বা অন্য কথায় চারমাত্রিক সাংতত্যকটির একটি বিন্দুকে নির্দিষ্ট (determine) করে সেই স্থানাঙ্কগুলি সরল একটি পদ্ধতিতে ভৌত ভাবে সংজ্ঞিত হয়। এ বইয়ের প্রথম খণ্ডে সে পদ্ধতি বিস্তৃত ভাবে দেওয়া হয়েছে। একটি গ্যালিলীয় তন্ত্র থেকে অন্য গ্যালিলীয় তন্ত্রে রূপান্তরের জন্য লোরেঞ্জ রূপান্তরের সমীকরণগুলি সত্য, অবশ্য শেষেরটি যদি প্রথমটি সাপেক্ষ সমরূপে চলমান হয়। শেষোক্তগুলি অর্থাৎ লোরেঞ্জ রূপান্তর বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ থেকে উপপাদন আহরণের ভিত্তি। এগুলি স্বতঃত সমস্ত গ্যালিলীয় নির্দেশতন্ত্র সাপেক্ষ আলোক প্রেরণ বিধির মহাবিশ্বব্যাপী (universal) সত্যতার অভিব্যক্তি ছাড়া আর কিছুই নয়।

মিনকাউস্কি দেখেছিলেন লোরেঞ্জ রূপান্তর নিম্নলিখিত সরল সর্তগুলি পূরণ করে। সন্নিহিত দুটি ঘটনা বিচার করা যাক। স্থান নির্দেশক পার্থক্য dx, dy, dz এবং কাল-পার্থক্য dt এর সাহায্যে একটি গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ একটি চারমাত্রিক সাংতত্যকে তাদের আপেক্ষিক অবস্থান অভিব্যক্ত হয়। আমরা অনুমান করবো একটি দ্বিতীয় গ্যালিলীয়তন্ত্র সাপেক্ষ এই দুটি ঘটনার অনুরূপ পার্থক্য হবে-dx', dy', dz', dt'। তা হলে এই রাশিগুলি (magni-

tudes) সব সময়ই নিম্নলিখিত সর্তগুলি পূরণ করবে :[1]

$$dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2dt^2 = dx'^2 + dy'^2 + dz'^2 - c^2dt'^2$$

লোরেঞ্জ রূপান্তরের সত্যতা এই সম্পর্কের ফলশ্রুতি। এ তথ্যটি আমরা নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করতে পারি। নিম্নলিখিত রাশি :

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2dt^2,$$

চারমাত্রিক স্থান কাল সাংতত্যকের দুটি সন্নিহিত বিন্দুর অধিকারে। এ রাশির মূল্যাঙ্ক সমস্ত নির্বাচিত (গ্যালিলীয়) নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের ক্ষেত্রে অভিন্ন। আমরা যদি $x, y, z, \sqrt{-1}\ ct$ এর স্থানে x_1, x_2, x_3, x_4 প্রতিস্থাপন করি তা হলে আমরা নিম্নলিখিত ফলও পাই :

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2$$

এই অভিব্যক্তি নির্দেশ বস্তুপিণ্ড নির্বাচন নিরপেক্ষ। ds রাশির আমরা নাম দিয়েছি দুটি ঘটনা কিংবা একাধিক চারমাত্রিক বিন্দুর "দূরত্ব"।

যথা : আমরা যদি কাল পরিবর্তীরূপে বস্তুর পরিমাণ t-এর বদলে কাল্পনিক পরিবর্তী $\sqrt{-1}\ ct$কে নির্বাচন করি তা হলে আমরা বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ অনুসারে স্থান কাল সাংতত্যককে একটি "ইউক্লিডীয়" চতুর্মাত্রিক সাংতত্যকরূপে বিবেচনা করতে পারি। আগের অংশের বিচারগুলি এ ফলের পথিকৃৎ।

---

1. পরিশিষ্ট I এবং II দেখুন। সেখানে স্থানাঙ্কগুলির নিজস্ব যে সম্পর্ক উপপাদিত হয়েছে সেগুলি স্থানাঙ্কগুলির 'পার্থক্যের' ক্ষেত্রেও সত্য এবং সেই জন্যই সত্য স্থানাঙ্ক বিভেদকগুলি (differentials) সম্পর্কেও (অনিশ্চিত ক্ষুদ্র পার্থক্য)।

XXVII

ব্যাপক অপেক্ষবাদের স্থান-কাল সাংতত্যক এবং ইউক্লিডীয় সাংতত্যক অভিন্ন নয়

এই বইয়ের প্রথম অংশে আমরা স্থান কাল নির্দেশক ব্যবহার করতে সমর্থ হয়েছি। সেগুলি প্রত্যক্ষ এবং ভৌতব্যাখ্যাযোগ্য ছিল। পরিচ্ছেদ XXVI অনুসারে সেগুলিকে চার মাত্রিক কার্তেজীয় নির্দেশকরূপে বিচার করা যেতে পারে। আলোকের গতিবেগের স্থিরত্ব বিষয়ক বিধির ভিত্তিতেই একাজ সম্ভব হয়েছিল। কিন্তু পরিচ্ছেদ XXI অনুসারে ব্যাপক অপেক্ষবাদ এ বিধি মানতে পারে না। বরং উল্টো : আমরা এই বিচারফলে পৌঁছেছিলাম যে শেষোক্ত তত্ত্ব অনুসারে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের উপস্থিতিতে আলোকের গতিবেগকে অবশ্যই নির্দেশকগুলির উপর নির্ভর করতে হবে। পরিচ্ছেদ XXIII এর বিশেষ দৃষ্টান্ত প্রসঙ্গে আমরা দেখেছি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের উপস্থিতি নির্দেশক এবং কালের সংজ্ঞা অসিদ্ধ প্রতিপন্ন করে। এ তথ্যই বিশিষ্ট অপেক্ষবাদে আমাদের উদ্দেশ্যের পাথিক্য।

এই সমস্ত বিচারের পরিপ্রেক্ষিতে আমাদের বিশ্বাস হয়েছে যে ব্যাপক আপেক্ষিকতার নীতি অনুসারে স্থান-কাল সাংতত্যককে ইউক্লিডীয় সাংত্যতকরূপে বিচার করা চলে না। বরং মর্মর ফলকের স্থানীয় তাপমাত্রাভেদের অনুরূপ এ ক্ষেত্রে আমাদের একটি সাধারণ বিষয় রয়েছে এবং তার সঙ্গে আমাদের পরিচয় হয়েছে একটি দ্বিমাত্রিক সাংতত্যকের উদাহরণ রূপে। ঠিক যে রকম সে ক্ষেত্রে সমান দণ্ডের সাহায্যে কার্তেজীয় স্থানাঙ্কতন্ত্র গঠন সম্ভব ছিল না সেই রকম এখানে অসম্ভব অনমনীয় বস্তুপিণ্ড এবং ঘড়ির সাহায্যে এ রকম একটি তন্ত্র (নির্দেশ বস্তুপিণ্ড) নির্মাণ করা যার চরিত্র এমন হবে যে, পরস্পর সাপেক্ষ অনমনীয় ভাবে সাজানো ঘড়ি এবং মাপনদণ্ড প্রত্যক্ষভাবে অবস্থান এবং কাল নির্দেশ করবে। পরিচ্ছেদ XXIII-এ আমরা যে সঙ্কটের মুখোমুখি হয়েছিলাম এই তার সারাংশ।

কিন্তু পরিচ্ছেদ XXV এবং পরিচ্ছেদ XXVI-এর বিচারগুলি আমাদের এ সংকট অতিক্রম করার পথ দেখিয়েছে। আমরা চার মাত্রিক স্থান-কাল সাংত্যতককে যাদৃচ্ছিক ভাবে গাউসীয় নির্দেশকে আরোপ (refer) করছি। সাংত্যতকের প্রতিটি বিন্দুতে (ঘটনা) আমরা চারটি সংখ্যা আরোপ করি—x_1, x_2, x_3, x_4 (স্থানাংক)। এগুলির নিম্নতম প্রত্যক্ষ ভৌত গুরুত্বও নেই। এরা শুধুমাত্র নির্দিষ্ট নিশ্চিত অথচ যাদৃচ্ছিক পদ্ধতিতে সাংত্যতকের বিন্দুগুলিতে সংখ্যা আরোপের উদ্দেশ্য সাধন করে। এমন কি এ ব্যবস্থা এমনও হবার প্রয়োজন নেই যে আমাদের x_1, x_2, x_3কে "স্থান" নির্দেশক এবং x_4কে "কাল" নির্দেশক বলতেই হবে।

পাঠক ভাবতে পারেন বিশ্বের এ রকম বিবরণ মোটেই যথেষ্ট নয়। একটি ঘটনায় x_1, x_2, x_3, x_4 এই স্থানাংকগুলি আরোপ করার কি অর্থ থাকতে পারে যদি এই স্থানাংকগুলির নিজস্ব কোন গুরুত্ব না থাকে ? আরো সযত্ন বিচারে কিন্তু দেখা যাবে এ উৎকণ্ঠা ভিত্তিহীন। দৃষ্টান্ত হিসাবে যে কোনরূপ গতি সম্পন্ন একটি পদার্থবিন্দু বিচার করা যাক। ঘটনাটির অস্তিত্ব যদি শুধু মুহূর্ত ব্যাপী হয় এবং তার যদি কোন স্থিতিকাল না থাকে তা হলে একটি মূল্যাংকতন্ত্রে x_1, x_2, x_3, x_4-এর সাহায্যে স্থানকালে তার বিবরণ দেয়া হবে। সুতরাং তার স্থায়ী অস্তিত্বের বৈশিষ্ট্য নিশ্চয়ই অসীম সংখ্যক এই রকম মূল্যাংক তন্ত্র দিয়ে প্রকাশিত হবে। সেই নির্দেশক মূল্যগুলির সান্নিধ্য এত ঘনিষ্ঠ যে তারা পদার্থ বিন্দুর অনুরূপ অবিচ্ছিন্নতা প্রদান করে। সুতরাং চার মাত্রিক সাংত্যতকে আমাদের একটি (এক মাত্রিক) রেখা থাকে। একই ভাবে আমাদের সাংতত্যকে সেই ধরণের যে কোন একাধিক রেখা গতিশীল বহু বিন্দুর অনুরূপ। এই বিন্দুগুলি সম্পর্কিত বক্তব্যগুলির পক্ষে বাস্তবিক পক্ষে ভৌত অস্তিত্বের দাবীদার হতে পারে শুধুমাত্র তাদের সংঘর্ষ (encounter) সম্পর্কীয় বক্তব্যগুলি। আমাদের গাণিতিক আলোচনায় এই রকম সংঘর্ষ প্রকাশ পায় এই তথ্যের সাহায্যে : যে দুটি রেখায় আলোচ্য বিন্দুগুলির প্রতিরূপ তাদের একটি বিশেষ নির্দেশক মূল্যাংকতন্ত্র (system of co-ordinate values) x_1, x_2, x_3, x_4 অভিন্ন। পরিণত বিচারের পর পাঠক নিঃসন্দেহে মেনে নেবেন : বাস্তবিক পক্ষে এই রকম সংঘর্ষই স্থান-কাল চরিত্রের একমাত্র বাস্তব সাক্ষ্য যার সঙ্গে আমাদের ভৌত বিবরণে সাক্ষাৎকার হয়।

যখন আমরা একটি নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ একটি পদার্থ বিন্দুর গতির

বিবরণ দিয়েছি তখন আমরা নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের বিশিষ্ট কয়েকটি বিন্দুর সঙ্গে সেই বিন্দুর সংঘর্ষগুলির বিবরণ ছাড়া আর কিছুই বলিনি। এ ছাড়া আমরা ঘড়ির মুখপট্টের (dial) বিশেষ বিন্দুগুলির সঙ্গে কাঁটাগুলির সংঘর্ষ পর্যবেক্ষণের সংযোগে বস্তুপিণ্ডের ঘড়ির সঙ্গে সংঘর্ষ পর্যবেক্ষণের দ্বারা কালেরও অনুরূপ মূল্যাঙ্ক নির্ণয় করতে পারি। সামান্য বিচারেই দেখা যাবে যে মাপন দণ্ডের সাহায্যে স্থান মাপনের ক্ষেত্রেও ব্যাপারটা একই।

নিম্নলিখিত বিবৃতি সাধারণভাবে সত্য। প্রতিটি ভৌত বিবরণই কয়েকটি বিবৃতিতে পরিণতি লাভ করে। তাদের প্রতিটিই নির্দেশিত হয় দুটি ঘটনা A এবং B-এর স্থানকালে সমাপতনে। গাউসীয় স্থানাঙ্কের বাগ্‌বিধিতে এই রকম প্রতিটি বক্তব্যেরই প্রকাশ চারটি স্থানাঙ্ক x_1, x_2, x_3 এবং x_4 এর ঐক্যে। তাহলে বাস্তবক্ষেত্রে গাউসীয় স্থানাঙ্কের সাহায্যে স্থান-কালের বিবরণ নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের বিবরণের স্থলে সম্পূর্ণ প্রতিস্থাপিত হয়। শেষোক্ত বিবরণরীতির দোষ এতে থাকে না। যে সাংতত্যকের ইউক্লিডীয় চরিত্রের প্রতিরূপ দিতে হবে তার সঙ্গে এ আবদ্ধ থাকে না।

XXVIII

ব্যাপক আপেক্ষিক নীতির নির্ভুল গঠন ক্রিয়া

এখন আমরা পরিচ্ছেদ XXVIII-তে দেয়া সাধারণ আপেক্ষিক নীতির অস্থায়ী গঠনের স্থলে নির্ভুল নীতি প্রতিস্থাপনের মত অবস্থায় পেশৗছেছি। সেখানে ব্যবহৃত অবয়ব "অর্থাৎ গতির অবস্থা যাই হোক না কেন সাধারণ পরিঘটনার বিবরণের জন্য (প্রকৃতির সাধারণ বিধি গঠন) K, K' ইত্যাদি সমস্ত নির্দেশ বস্তুপিন্ড তুল্য—এ তথ্য আর মানা চলে না।" কারণ বিশিষ্ট অপেক্ষবাদে অনুসরণ করা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত অর্থে, অনমনীয় নির্দেশ বস্তুপিন্ডের ব্যবহার, স্থান-কাল বিবরণে, সাধারণ-ভাবে সম্ভব নয়। গাউসীয় স্থানাঙ্কতন্ত্রকে গ্রহণ করতে হবে নির্দেশ বস্তুপিন্ডের স্থান। নিম্নলিখিত বিবৃতি সাধারণ আপেক্ষিক নীতির মৌলিক চিন্তাধারার অনুরূপ "প্রকৃতির সাধারণ বিধি গঠনকার্যে সমস্ত গাউসীয় স্থানাঙ্কতন্ত্রই মূলগত-ভাবে তুল্য।"

আমরা আপেক্ষিকতার এই সাধারণ নীতি অন্য আরও একরকমভাবে বলতে পারি। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের স্বাভাবিক প্রসারণের অবয়বরূপে উপস্থাপনের চাইতে এইভাবে প্রকাশ করলে ব্যাপারটা আরও স্পষ্টভাবে বোধগম্য হয়। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ অনুসারে আমরা যখন লোরেঞ্জ রূপান্তরের সাহায্যে একটি (গ্যালিলীয়) নির্দেশ বস্তুপিন্ড K-এর স্থানকাল পরিবর্তী x, y, z, t-এর স্থলে একটি নূতন নির্দেশ বস্তুপিন্ড K'-এর স্থান কাল পরিবর্তী x', y', z', t' প্রতিস্থাপন করি তখন প্রকৃতির সাধারণ বিধি প্রকাশক সমীকরণগুলির একই অবয়বের সমীকরণে উত্তরণ হয়। অন্যদিকে ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে গাউস পরিবর্তী x_1, x_2, x_3, x_4-এ 'যাদৃচ্ছিক প্রতিস্থাপন' প্রয়োগ করলে সমীকরণগুলির একই অবয়বের সমীকরণে উত্তরণ হয়। কারণ প্রতিটি রূপান্তরই (শুধুমাত্র লোরেঞ্জ রূপান্তরই নয়) একটি গাউসীয়

স্থানাংকতন্ত্র থেকে অন্য গাউসীয় স্থানাংকতন্ত্রে পরিবর্তনের অনুরূপ।

যদি আমাদের ইচ্ছা হয় যে আমরা বস্তুবিষয়ে "প্রাচীন (old times)" ত্রিমাত্রিক চিন্তা ধারাতেই আবদ্ধ থাকব তাহলে ব্যাপক অপেক্ষবাদের মূলগত চিন্তাধারার বিকাশমান বৈশিষ্ট্যকে আমরা নিম্নলিখিতরূপে প্রকাশ করতে পারি : বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ গ্যালিলীয় শাসনভূক্তিতে আরোপ্য (reference to Galileian domains) অর্থাৎ যে ভুক্তিতে কোন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব নেই, আরোপ্য সেখানে। এ প্রসঙ্গে গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড আরোপ্য বস্তুপিণ্ডের ভূমিকা পালন করে অর্থাৎ এরকম একটি অনমনীয় বস্তুপিণ্ড যার গতির অবস্থা এমনভাবে নির্বাচিত যে "বিচ্ছিন্ন" (isolated) পদার্থবিন্দুর সমরূপ ঋজুরেখ গতিসম্পর্কীয় গ্যালিলীয় বিধি সে সম্পর্কে সত্য।

কতগুলি বিচার থেকে মনে হয় একই গ্যালিলীয় শাসনভুক্তিকে (Galileian domain) আমাদের আরোপ করা উচিৎ 'অগ্যালিলীয়' নির্দেশ বস্তুপিণ্ডমুখী। তা হলে এই বস্তুপিণ্ডগুলি সাপেক্ষ একটি বিশেষ ধরনের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের অস্তিত্ব রয়েছে (পরিচ্ছেদ XX এবং XXIII দেখুন)।

মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে ইউক্লিডীয় ধর্মবিশিষ্ট কোন অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের অস্তিত্ব নেই। সুতরাং ব্যাপক অপেক্ষবাদে কাল্পনিক অনমনীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ডে কোন লাভ হয় না। ঘড়ির গতিও মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রদ্বারা প্রভাবিত হয়। এবং প্রভাবিত হয় এমনভাবে যে ঘড়ির সাহায্যে প্রত্যক্ষভাবে কৃত কালের ভৌত সংজ্ঞার বিশিষ্ট অপেক্ষবাদে যে রকম বিশ্বাসযোগ্যতা, এ ক্ষেত্রে সে পরিমাণ বিশ্বাসযোগ্যতা নেই।

এইজন্য অনমনীয় নয় এ রকম নির্দেশ বস্তুপিণ্ড ব্যবহার করা হয়। সেগুলির সবটাই শুধু যে, যে কোন রূপে চলমান তাই নয়, চলমান অবস্থায় তারা 'খুশীমত' (*ad lib*) অবয়বের পরিবর্তনও ভোগ করে। ঘড়ির গতি সম্পর্কীয় বিধি যে কোন রকম হতে পারে, হতে পারে যে কোন প্রকারে অনিয়মিত, কিন্তু কালের সংজ্ঞা নির্ধারণের জন্য সে ঘড়ি কার্যকর। আমাদের কল্পনা করতে হবে অনমনীয় নয় এমন নির্দেশ বস্তুপিণ্ডের (non-rigid reference body) একটি বিন্দুতে দৃঢ়ভাবে প্রতিটি ঘড়ি স্থাপিত রয়েছে। এ ঘড়িগুলি শুধু একটি সর্তই পালন করে। সে সর্ত হোল : (স্থানে) সন্নিহিত একাধিক ঘড়ির যুগপৎ পর্যবেক্ষিত "পাঠগুলির" (readings) পরস্পর সাপেক্ষ পার্থক্যের পরিমাণ অবিনিশ্চয়-যোগ্যরূপ (indefinite) ক্ষুদ্র। অনমনীয় নয় এই রকম নির্দেশ বস্তুপিণ্ড-গুলির উপযুক্ত নাম হওয়া উচিত "নির্দেশ শম্বুক (reference mollusc)"।

এগুলি প্রধানত যাদৃচ্ছিকভাবে নির্বাচিত গাউসীয় চারমাত্রিক স্থানাংকতন্ত্রের তুল্য। গাউসীয় নির্দেশকতন্ত্রের তুলনায় কাল নির্দেশকের বিরুদ্ধগামী স্থান নির্দেশকের পৃথক অস্তিত্ব রীতি সম্মত ভাবে রক্ষা করে (আসলে অযৌক্তিক) এই "শম্বুক"। এই জন্যই এই শম্বুকের খানিকটা বোধগম্যতা রয়েছে। শম্বুকের উপরের প্রতিটি বিন্দুকেই একটি স্থান-বিন্দু রূপে বিচার করা হয় এবং সেটি সাপেক্ষ প্রতিটি স্থিতিশীল পদার্থ বিন্দুকেই ভাবা হয় স্থিতিশীল : অবশ্য যতক্ষণ পর্যন্ত শম্বুককে নির্দেশ বস্তুপিন্ডরূপে গ্রহণ করা হয় ততক্ষণ। ব্যাপক আপেক্ষিক নীতির চাহিদা : প্রকৃতির সাধারণ বিধি গঠনে একই রকম সাফল্যের সঙ্গে এবং একই অধিকারে নির্দেশক বস্তুপিন্ডরূপে এই সমস্ত শম্বুকই ব্যবহার করা সম্ভব। বিধিগুলিকে স্বতঃত অবশ্যই শম্বুক নির্বাচন নিরপেক্ষ হতে হবে।

উপরে আমরা যা দেখেছি তার ফলশ্রুতি হিসাবে প্রকৃতির বিধিগুলির উপর একটি ব্যাপক অন্তর্ভুক্তি সম্পন্ন (comprehensive) সীমা আরোপ করাতেই রয়েছে ব্যাপক অপেক্ষবাদের বিরাট শক্তির উৎস।

XXIX

ব্যাপক অপেক্ষবাদ নীতির ভিত্তিতে মহাকর্ষ সমস্যার সমাধান

আমাদের আগের বিচারগুলি যদি পাঠক বুঝে থাকেন তা হলে মহাকর্ষ সমস্যা সমাধান পদ্ধতির পথনির্দেশ বুঝতে তাঁর আর কোন কষ্ট হবে না।

আমরা শুরু করি একটি গ্যালিলীয় শাসনভুক্তির বিচার থেকে অর্থাৎ যে ভুক্তিতে গ্যালিলীয় নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K সাপেক্ষ কোন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র নেই। K সাপেক্ষ মাপনদণ্ড এবং ঘড়ির আচরণ বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ থেকে জানা। একই রূপে জানা "নিঃসঙ্গ (isolated)" পদার্থ বিন্দুর আচরণও। শেষোক্তটির চলন সমরূপ এবং ঋজুরেখ।

এবার এই শাসনভুক্তিকে একটি অসম্বন্ধ (random) গাউসীয় স্থানাঙ্কতন্ত্রে নির্দেশ করা যাক কিংবা নির্দেশ করা যাক নির্দেশ বস্তুপিণ্ড K' রূপে একটি "শম্বুকে"। তাহলে K' সাপেক্ষ একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র G (একটি বিশেষ ধরণের) রয়েছে। K' সাপেক্ষ মাপনদণ্ড এবং ঘড়ির আচরণ এবং অবাধে চলমান পদার্থ বিন্দুর আচরণও শুধুমাত্র গাণিতিক রূপান্তরের সাহায্যেই আমরা জানতে পারি। এই আচরণ আমরা ব্যাখ্যা করি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র G-এর প্রভাবে মাপনদণ্ড, ঘড়ি এবং পদার্থ বিন্দুর আচরণরূপে। এখানে আমরা একটি প্রকল্প উপস্থিত করি : এমনকি যে সমস্ত ক্ষেত্রে শুধুমাত্র স্থানাঙ্কের একটি রূপান্তরের সাহায্যে গ্যালিলীয় বিশেষ ক্ষেত্র থেকে বিদ্যমান মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র উপপাদন সম্ভব 'নয়' সেখানেও একই বিধি অনুসারে মাপক দণ্ড, ঘড়ি এবং অবাধে চলমান পদার্থ বিন্দুর উপর মহাকর্ষীয় প্রভাব চলতে থাকবে।

পরের ধাপ : শুধুমাত্র স্থানাঙ্ক পরিবর্তনের সাহায্যে গ্যালিলীয় বিশেষ ক্ষেত্র থেকে উপপাদিত মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র G-এর স্থানকাল আচরণ অনুসন্ধান করা। এই আচরণ একটি বিধিরূপে গঠিত। বিবরণে ব্যবহৃত নির্দেশ বস্তুপিণ্ড (শম্বুক)

যে ভাবেই নির্বাচিত হোক না কেন এ বিধি সর্বদা সত্য।

এখনও এ বিধি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের 'সাধারণ' বিধি নয়। তার কারণ বিচার্য মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র একটি বিশেষ ধরণের। মহাকর্ষবিষয়ক ক্ষেত্রের সাধারণ বিধি আবিষ্কার করতে হলে এখনো আমাদের পূর্বপ্রাপ্ত বিধির ন্যায় একটি সাধারণীকরণ প্রয়োজন। নিম্নলিখিত চাহিদাগুলি বিবেচনা করলে কোন রকম খামখেয়ালী না করেই কিন্তু এ বিধি প্রাপ্তি সম্ভব :

(ক) প্রয়োজনীয় সাধারণীকরণকে অবশ্যই অপেক্ষবাদের সাধারণীকরণের স্বীকৃতি একই ভাবে মেনে নিতে হবে।

(খ) বিচার্য শাসনভুক্তিতে যদি কোন পদার্থ থাকে তা হলে একটি ক্ষেত্র-উত্তেজন ক্রিয়ায় তার গুরুত্ব নির্ভর করে শুধুমাত্র তার জড়ত্বীয় ভরের উপর। অতএব পরিচ্ছেদ XV অনুসারে শুধুমাত্র তার শক্তির উপর।

(গ) মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র এবং পদার্থকে যুক্তভাবে শক্তির অবিনশ্বরতা বিধিকে (এবং ঘাত সম্পর্কীয়—and of impulse) তুষ্ট করতে হবে।

অন্তিমে : যখন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র অনুপস্থিত তখন জানিত বিধি অনুসারে ঘটমান সমস্ত ক্রিয়াগুলির গতিপথের (course) উপর মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রভাব নির্ধারণের ক্ষমতা (permits) আমরা পাই ব্যাপক আপেক্ষিকতার নীতি থেকে অর্থাৎ আমরা ক্ষমতা লাভ করি যে ব্যাপারগুলি বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের সঙ্গে আগেই খাপ খেয়ে গিয়েছে সেগুলি সম্পর্কে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রভাব নির্ধারণের। এই প্রসঙ্গে নীতিগত ভাবে আমরা সেই পদ্ধতি অনুসরণ করি যে পদ্ধতি এর আগেই মাপনদণ্ড, ঘড়ি এবং অবাধে চলমান পদার্থবিন্দু প্রসঙ্গে ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

সাধারণ অপেক্ষবাদের স্বীকার্য থেকে আহরণ করা মহাকর্ষীয় বিধির শ্রেষ্ঠত্ব শুধু তার সৌন্দর্যের জন্যই নয় কিংবা পরিচ্ছেদ XXI-এ প্রকাশিত চিরায়ত বল-বিদ্যার সঙ্গে যুক্ত ত্রুটিগুলি দূর করার জন্য নয়, এমনকি, মহাকর্ষীয় ভর এবং জড়ত্বীয় ভরের তুল্যতার স্থূল বিধি (empirical law) ব্যাখ্যা করতে পারার জন্যও নয়। এ তত্ত্বের শ্রেষ্ঠত্ব এইজন্য : এ তত্ত্ব জ্যোতির্বিদ্যায় এমন একটি পর্যবেক্ষণ ফল ব্যাখ্যা করেছে যার সামনে চিরায়ত বলবিদ্যা ক্ষমতাহীন।

আমরা যদি তত্ত্বের প্রয়োগকে সেই ক্ষেত্রেই আবদ্ধ রাখি যেখানে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রগুলিকে দুর্বল ভাবা যায়, কিম্বা যে সমস্ত ক্ষেত্রে স্থানাঙ্কতন্ত্র সাপেক্ষ সমস্ত ভরগুলিই আলোকের গতিবেগের তুলনায় অল্প গতিবেগে চলমান, তাহলে আমরা পাই নিউটনীয় তত্ত্বের সঙ্গে প্রথম আসন্নতা। সুতরাং কোন বিশেষ অনুমান

ছাড়াই এখানে আমরা শেষের তত্ত্বটি প্রাপ্ত হই। অথচ নিউটনকে এই প্রকল্প (hypothesis) উপস্থিত করতে হয়েছিল যে পরস্পর আকর্ষণকারী দুটি পদার্থ-বিন্দুর আকর্ষণ-বল তাদের অন্তবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। গণনার নির্ভুলতা বৃদ্ধি করলে নিউটনীয় তত্ত্ব থেকে বিচ্যুতি প্রকাশ পায়। তার বিচ্যুতিগুলির বেশীর ভাগই এত ক্ষুদ্র যে পর্যবেক্ষণগত পরীক্ষায় তারা ধরা পড়ে না।

এই জাতীয় একটি বিচ্যুতির প্রতি এখানে আমাদের দৃষ্টি আকর্ষণ করা আবশ্যিক। নিউটনের তত্ত্ব অনুসারে একটি গ্রহ সূর্যের সর্বপার্শ্বে উপবৃত্ত পথে চলমান। আমরা যদি স্থির তারকাগুলির নিজস্ব গতি এবং বিচার্য অন্য গ্রহগুলির গতি অগ্রাহ্য করি তা হলে উপবৃত্তটি স্থির তারকাগুলি সাপেক্ষ নিজ অবস্থান স্থায়ী ভাবে রক্ষা করবে। সুতরাং আমরা যদি গ্রহগুলির পর্যবেক্ষণ করা গতি এই দুই প্রভাব সাপেক্ষ সংশোধন করি এবং নিউটনের তত্ত্ব যদি একেবারেই নির্ভুল হয় তা হলে গ্রহের কক্ষ রূপে আমাদের পাওয়া উচিত এমন একটি উপবৃত্ত স্থির তারকা সাপেক্ষ যার অবস্থান স্থির। এই অবরোহী সিদ্ধান্ত (deduction) অত্যন্ত নির্ভুল ভাবে পরীক্ষা করা সম্ভব। আধুনিক পর্যবেক্ষণের সূক্ষ্মতার সাহায্যে যে যথাযথতা পাওয়া সম্ভব তার দ্বারা একটি বাদে প্রতিটি গ্রহের ক্ষেত্রেই এই সিদ্ধান্তের সত্যতা প্রমাণিত হয়েছে। একমাত্র ব্যতিক্রম বুধগ্রহ—সূর্যের সবচাইতে নিকটবর্তী গ্রহ। লেভেরিয়েরের (Leverrier) সময় থেকে জানা আছে যে বুধগ্রহের কক্ষের অনুরূপ উপবৃত্ত উপরে উল্লিখিত প্রভাব সাপেক্ষ সংশোধণের পরও স্থির তারকাগুলি সাপেক্ষ অচর (stationary) নয় বরং অত্যন্ত ধীরে কক্ষের তলে (plane of the orbit) আবর্তিত হয় এবং আবর্তিত হয় কক্ষগতির অর্থে (in the sense of orbital motion)। কক্ষ উপবৃত্তের এই ঘূর্ণী গতির মূল্যাঙ্ক পাওয়া গিয়েছিল প্রতি শতাব্দীতে চাপের (arc) 43 সেকেন্ড। চাপের কয়েক সেকেন্ড সীমার ভিতরে এই পরিমাণ নির্ভুল সে বিষয়ে নিশ্চিত আছে। চিরায়ত বলবিদ্যার সাহায্যে এই অভিক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায় এমন প্রকল্প অনুমানের ভিত্তিতে যার সম্ভাব্যতা সামান্য। তাছাড়া সে প্রকল্প উদ্ভাবন করা হয়েছিল শুধুমাত্র এই উদ্দেশ্যেই।

ব্যাপক অপেক্ষবাদের ভিত্তিতে দেখা যায় প্রতিটি গ্রহের, সূর্যের সর্বপার্শ্বের উপবৃত্তের উপরে নির্দেশিত পদ্ধতিতে ঘূর্ণন আবশ্যিক। বুধগ্রহ ছাড়া অন্যান্য গ্রহের ক্ষেত্রে এ ঘূর্ণন এত অল্প যে পর্যবেক্ষণ ব্যাপারে বর্তমান কালের সম্ভাব্য সূক্ষ্মতার সাহায্যে সেটা আবিষ্কার করা সম্ভব নয়। কিন্তু বুধগ্রহের ক্ষেত্রে এটা

হবে শতাব্দী প্রতি চাপের 43 সেকেণ্ড। এই ফলের সঙ্গে পর্যবেক্ষণের নির্ভুল ঐক্য রয়েছে।

তাছাড়া তত্ত্বটি থেকে এ পর্যন্ত এরকম দুটি মাত্র অবরোহী সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়েছে যে সিদ্ধান্তগুলি পর্যবেক্ষণের সাহায্যে পরীক্ষা করা যায়; যথা: সূর্যের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে আলোক রশ্মির বক্রতা[1] এবং পৃথিবীতে একইভাবে উৎপাদিত আলোকের (অর্থাৎ একই পরমাণু দ্বারা) বর্ণালী রেখাগুলির তুলনায় বৃহৎ তারাগুলি থেকে আমাদের কাছে আগত আলোকের অনুরূপ বর্ণালী রেখার স্থান-চ্যুতি।[2] এ-তত্ত্ব থেকে গৃহীত এই দুটি অবরোহী সিদ্ধান্ত প্রমাণিত হয়েছে।

---

(1) এডিংটন (Eddington) এবং অন্যেরা 1919 সালে প্রথম পর্যবেক্ষণ করেন। (দ্রঃ পরিশিষ্ট III, পৃ ১১৬-১১৮)।

(2) এ্যাডামস্ (Adams) 1924 সালে প্রমাণ করেন। (দ্রঃ পৃ ১২১)।

তৃতীয় খণ্ড

পূর্ণরূপে মহাবিশ্ব সম্পর্কে বিচার

XXX

সৃষ্টিতত্ত্ব বিষয়ে (Cosmological) নিউটনীয় তত্ত্বের অসুবিধা

পরিচ্ছেদ XXI-এ আলোচিত অসুবিধা ছাড়াও চিরায়ত গাগনিক বলবিদ্যায় (classical clestial mechanics) দ্বিতীয় একটি মূলগত অসুবিধা রয়েছে। আমি যতদূর জানি এ বিষয়ে বিস্তৃত আলোচনা করেছিলেন জ্যোতির্বিজ্ঞানী সীলিগার (Seeliger)। মহাবিশ্বকে পূর্ণরূপে বিচার কিভাবে করা উচিত এ প্রশ্ন নিয়ে যদি আমরা চিন্তা করি তা হলে প্রথমে যে উত্তর আমাদের কাছে স্বপ্রকাশ সেটা নিশ্চয়ই এই : স্থান (এবং কাল) সাপেক্ষ মহাবিশ্ব অসীম। তারকা সর্বত্রই রয়েছে। পুঙ্খানুপুঙ্খ বিচারে অত্যন্ত পরিবর্তী (variable) হলেও পদার্থের ঘনত্ব গড়ে সর্বত্রই সমান। অন্য কথায় : স্থানে যতদূরেই ভ্রমণ করিনা কেন সর্বত্রই আমরা প্রায় একই ধরণের এবং একই ঘনত্বের ক্ষীণকৃত (attenuated) স্থির তারকার ঝাঁক দেখতে পাবো।

এই দৃষ্টিভঙ্গির সঙ্গে নিউটনের তত্ত্বের সংগতি নেই। শেষোক্ত তত্ত্বের বরং মহাবিশ্বের এক ধরণের কেন্দ্রের প্রয়োজন। সেখানে তারকার ঘনত্ব থাকবে সর্বোচ্চ। কেন্দ্র থেকে যত আমরা বহির্মুখী যেতে থাকবো তারকাগুলির গোষ্ঠী-ঘনত্বও তত কমতে থাকবে। অন্তিমে উত্তরণ হবে বহুদূরে—অসীম এক শূন্য এলাকায়। তারকা সমন্বিত মহাবিশ্বের হওয়া উচিত অনন্ত স্থানকাল সমুদ্রের ভিতরে শান্ত

একটি দ্বীপ।[1]

স্বতঃত এই কল্পন (conception) খুব সন্তোষজনক নয়। আরো কম সন্তোষ-জনক এই জন্য যে এই চিন্তন নিম্নলিখিত ফলের পথিকৃৎ : তারকাগুলি থেকে এবং তারকাতন্ত্রের একক তারকা থেকে বিকিরিত আলোক অবিরাম অসীম স্থানে গমন করছে কখনোই ফিরে আসছে না এবং প্রকৃতির অন্যান্য বস্তুর সঙ্গে কখনোই পারস্পরিক ক্রিয়ায় জড়িত হচ্ছে না। এই রকম সান্ত, বাস্তব মহাবিশ্বের পরিণতি হবে ক্রমশ কিন্তু নিয়মিত ভাবে ক্ষয়প্রাপ্ত হওয়া।

এই উভয় সংকট থেকে পরিত্রাণের জন্য সীলিগার নিউটনীয় বিধির একটি পরিবর্তনের প্রস্তাব উত্থাপন করেছিলেন। সে প্রস্তাবে তিনি অনুমান করেছেন দূরত্ব বিরাট হলে দুটি ভরের আকর্ষণী বল বিপরীত বর্গীয় সূত্র (inverse square law) অনুসারে যা হওয়া উচিত তার চাইতে দ্রুততর হ্রাস পায়। তা হলে উৎপন্ন মহাকর্ষীয় বলের বিরাটত্ব অসীম না হয়েও পদার্থের গড় ঘনত্ব সর্বত্র এমনকি অসীম পর্যন্ত অচর থাকা উচিৎ। বাস্তব মহাবিশ্বের একটি কেন্দ্র জাতীয় কিছু থাকা উচিৎ এই বিস্বাদ কল্পন থেকে এইভাবে আমরা মুক্তি পেতে পারি। অবশ্য উল্লিখিত মৌল সংকট থেকে এই মুক্তি আমরা ক্রয় করি নিউটনীয় বিধি জটিলতর এবং পরিবর্তিত করার বিনিময় মূল্যে। সে বিধির পরীক্ষানির্ভর কিম্বা যুক্তিনির্ভর কোন ভিত্তিই নেই। একই উদ্দেশ্য সাধন করবে এ-রকম অসংখ্য বিধি আমরা কল্পনা করতে পারি। কিন্তু একটিকে ছেড়ে অন্যটিকে কেন অগ্রাধিকার দেবো তার কোন কারণ আমরা দর্শাতে পারি না। আসলে এই সবকটি বিধিরই সম্প্রসারিত সাধারণ তাত্ত্বিকভিত্তি নিউটনীয় বিধির মতো স্বল্প।

---

1 প্রমাণ—নিউটনের তত্ত্ব অনুসারে যে "বলরেখাগুলি" অসীম থেকে এসে ভর m-এ শেষ হয় সেগুলির সংখ্যা ভর m-এর আনুপাতিক। যদি সমগ্র মহাবিশ্বে ভরের গড় ঘনত্ব ρ_0 অচর (constant) হয় তা হলে V আয়তন বিশিষ্ট একটি গোলক গড় ভর $\rho_0 V$ কে পরিবেষ্টন করবে। তা হলে গোলকের উপরিতল F-এর ভিতর দিয়ে গোলকের অন্তরে চলমান বলরেখাগুলি $\rho_0 V$-এর আনুপাতিক। তা হলে গোলকের ক্ষেত্রফলের একটি একক এলাকা দিয়ে গমন কোরে গোলকের ভিতরে প্রবেশ করছে এরকম বলরেখার সংখ্যা $\rho_0 V$ অথবা $\rho_0 R$ এর আনুপাতিক। সুতরাং গোলকের ব্যাসার্ধ R এর বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে গোলকের উপরিতলের ক্ষেত্রের তীব্রতা অন্তিমে অসীমে পরিণত হবে—এটা অসম্ভব।

XXXI

"সসীম" অথচ "অসীমাবদ্ধ" (unbounded) মহাবিশ্বের সম্ভাবনা

কিন্তু মহাবিশ্বের গঠন সম্পর্কীয় দূর কল্পনার সম্পূর্ণ অন্য অভিমুখও রয়েছে। অনিউক্লিডীয় জ্যামিতির বিকাশ, স্বীকৃতির পথ দেখিয়েছে এই তথ্যের : চিন্তার বিধি কিম্বা অভিজ্ঞতার সঙ্গে দ্বন্দ্বে না এসেও (রীমান—Riemann হেল্‌মহোলজ্‌—Helmholtz) আমাদের স্থানের অসীমত্বে আমরা সন্দেহ প্রকাশ করতে পারি। হেল্‌মহোলজ এবং পয়েনকেয়ার (Poincare) এর আগেই অনতিক্রমনীয় স্বচ্ছতার সঙ্গে এ প্রশ্নগুলি বিচার করেছেন। আমি কিন্তু এখানে শুধুমাত্র সংক্ষেপে সেগুলি ছুঁয়ে যেতে পারি।

প্রথমত, আমরা দ্বিমাত্রিক স্থানে একটি অস্তিত্ব কল্পনা করি। কারিকরী যন্ত্রপাতি, বিশেষ করে, চ্যাপটা (flat) অনমনীয় মাপন দণ্ড সমেত চ্যাপটা জীব অবাধে এক তলে (plane) চলাচল করতে পারে। তাদের কাছে এই তলের বাইরে আর কিছুরই অস্তিত্ব নেই। তাদের নিজেদের প্রতি এবং তাদের চ্যাপটা "জিনিষ-পত্রের" প্রতি ঘটমান যা কিছু তারা পর্যবেক্ষণ করে সেগুলিই তাদের তলের সর্বব্যাপী বাস্তবতা, বিশেষ করে, তলীয় ইউক্লিডীয় জ্যামিতির (Plane Euclidian Geometry) গঠনকার্যগুলি দণ্ডের সাহায্যে করা সম্ভব : যেমন পরিচ্ছেদ XXIVতে বিচার করা জাফরী (lattice) গঠন। এদের মহাবিশ্ব দ্বিমাত্রিক : সেটা আমাদের সঙ্গে বৈসাদৃশ্য কিন্তু আমাদেরই মত তাদের মহাবিশ্বের বিস্তার অসীম। তাদের মহাবিশ্বে অসীম সংখ্যক দণ্ড দিয়ে নির্মিত অভিন্ন রূপ বর্গক্ষেত্রের স্থান রয়েছে অর্থাৎ সে মহাবিশ্বের আয়তন (পৃষ্ঠতল) অসীম। তারা যদি তাদের মহাবিশ্বকে সমতল বলে তাহলে তাদের বক্তব্য অর্থবহ কারণ তারা তাদের দণ্ড দিয়ে তলীয় ইউক্লিডীয় জ্যামিতির গঠনকার্য করতে পারে। এই ব্যাপারে একক দণ্ডগুলি

তাদের অবস্থান নির্বিশেষে সর্বদা একই দূরত্বের প্রতিরূপ।

এখন একটি দ্বিতীয় দ্বিমাত্রিক অস্তিত্ব কল্পনা করা যাক। কিন্তু সমতলের বদলে এবার একটি গোলকের পৃষ্ঠতলের উপরে। চ্যাপটা জীবেরা তাদের মাপক দণ্ড এবং অন্যান্য জিনিষ নিয়ে পৃষ্ঠতলে নির্ভুলভাবে খাপ খেয়ে যায়। তবে তারা এ পৃষ্ঠতল পরিত্যাগ করতে পারে না। তাদের পর্যবেক্ষণযোগ্য পুরো মহাবিশ্বের বিস্তার শুধুমাত্র তাদের গোলকের পৃষ্ঠতলে। এই জীবেরা তাদের মহাবিশ্বের জ্যামিতিকে কি তলীয় জ্যামিতি বলে বুঝতে পারে? তাছাড়া তাদের দণ্ডগুলিকে কি "দূরত্বের" বাস্তবায়ন বলে ধারণা করতে পারে? এ তারা করতে পারে না। কারণ একটি ঋজুরেখা আঁকতে চেষ্টা করলে তারা পাবে একটি বক্ররেখা। আমরা "ত্রিমাত্রিক জীবেরা" তার নাম দেব বিরাট একটি বৃত্ত অর্থাৎ একটি স্বয়ংসম্পূর্ণ নির্দিষ্ট, নিশ্চিত সান্ত দৈর্ঘ্য সম্পন্ন রেখা, সে রেখাকে একটি মাপকদণ্ড দিয়ে মাপা সম্ভব। একইভাবে এই মহাবিশ্বের ক্ষেত্রফল সীমিত। দণ্ডগুলি দিয়ে গঠিত একটি বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সঙ্গে সে ক্ষেত্রফলের তুলনা করা চলে। এই বিচারফলের সব চাইতে বড় আকর্ষণ এই স্বীকৃতিতে: এই জীবদের মহাবিশ্ব সান্ত কিন্তু তবুও তার কোনো সীমা নেই।

কিন্তু তারা ইউক্লিডীয় মহাবিশ্বে বাস করছে না এ তথ্য বুঝবার জন্য গোলীয় উপপৃষ্ঠতলবাসী জীবদের বিশ্বপরিক্রমায় বার হবার কোনো প্রয়োজন সেই। এ বিষয়ে তারা তাদের "বিশ্বের" প্রতিটি অংশেই নিজেদের বিশ্বাস করাতে পারে। অবশ্য তারা যদি সে বিশ্বের অত্যাধিক ক্ষুদ্র অংশ ব্যবহার না করে। একটি বিন্দু থেকে শুরু করে তারা একই দৈর্ঘ্যের "ঋজুরেখা" (ত্রিমাত্রিক স্থানে বিচার করলে বৃত্তের চাপ) সর্বদিকে আঁকে। এই রেখাগুলির মুক্ত প্রান্তগুলিকে যে রেখা যুক্ত করে সে রেখার নাম তারা দেবে "বৃত্ত"। ইউক্লিডীয় তলীয় জ্যামিতি অনুসারে একটি সমতল পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রে একটি বৃত্তের পরিধির সঙ্গে তার ব্যাসের অনুপাত একটি অচর মূল্যাঙ্ক π এর সমান—অবশ্য দুটি দৈর্ঘ্যই যদি একই দণ্ড দিয়ে মাপা হয় তা হলে। π কিন্তু বৃত্তের পরিধি নিরপেক্ষ। আমাদের চ্যাপ্টা জীবেরা তাঁদের গোলীয় উপরিতলে এই অনুপাতের মূলাঙ্ক পারেন:

$$\pi = \frac{\sin\left(\frac{r}{R}\right)}{\left(\frac{r}{R}\right)}$$

অর্থাৎ π-এর তুলনায় ক্ষুদ্রতর মূল্যাঙ্ক। "বিশ্ব গোলকের" ব্যাসার্ধ R-এর তুলনায় বৃত্তের ব্যাসার্ধ যত বেশী হবে এই পার্থক্যের পরিমাণও তত বাড়বে। এই সম্পর্কের সাহায্যে গোলীয় জীবেরা তাদের মহাবিশ্বের ("বিশ্ব") ব্যাসার্ধ নির্ণয় করতে পারেন। এমন কি, মাপনের জন্য যখন গোলকের সামান্যতর অংশ মাত্র তাদের প্রাপ্তিসাধ্য তখনও। কিন্তু এই অংশ যদি খুবই ক্ষুদ্র হয় তা হলে তাঁরা আর দেখাতে পারবেন না যে, তাঁরা রয়েছেন একটি গোলীয় "বিশ্বে" এবং সে বিশ্ব ইউক্লিডীয় বিশ্ব নয়। কারণ, গোলীয় পৃষ্ঠতলের ক্ষুদ্রাংশের সঙ্গে একটি সমতলের একই আয়তনের অংশের পার্থক্য সামান্য মাত্র।

সুতরাং গোলীয় পৃষ্ঠতলের জীবেরা যদি এমন একটি গ্রহে বাস করেন যার সৌরতন্ত্র গোলীয় মহাবিশ্বের এত ক্ষুদ্র একটি অংশ যে তাকে অগ্রাহ্য করা যায়, তা হলে তাঁদের বাস অসীম মহাবিশ্বে না সসীম মহাবিশ্বে সেটা নির্ধারণ করার কোন উপায় তাঁদের থাকে না। কারণ "মহাবিশ্বের যে খণ্ডে" তাদের অভিগমনের ক্ষমতা (access) উভয় ক্ষেত্রেই সেটা কার্যত তলীয় (plane) অর্থাৎ ইউক্লিডীয় এই আলোচনার প্রত্যক্ষ ফলশ্রুতি আমাদের গোলীয় জীব সাপেক্ষ "মহা-বিশ্বের পরিধি অবধি না পৌঁছানো পর্যন্ত" প্রথম দিকে ব্যাসার্ধ বৃদ্ধির সঙ্গে বৃত্তের পরিধি বৃদ্ধি পায় তারপর থেকে ব্যাসার্ধের মূল্যাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বৃত্তের পরিধি ধীরে ধীরে হ্রাস পায় এবং শূন্য অবধি পৌঁছায়। এই ক্রিয়া চলাকালীন বৃত্তের ক্ষেত্রফল যতক্ষণ পর্যন্ত না "বিশ্ব গোলকের" মোট ক্ষেত্রফলের সমান হয় ততক্ষণ পর্যন্ত বৃত্তটির ক্ষেত্রফল ক্রমশ বেশী বেশী বাড়তে থাকে।

পাঠক হয়তো ভাববেন আমাদের "জীবগুলিকে" আমরা কেন আর একটি বন্ধ পৃষ্ঠতলে স্থাপন না করে একটি গোলকের উপর স্থাপন করেছি। কিন্তু এই নির্বাচনের যুক্তি রয়েছে এই তথ্যে: সমস্ত বন্ধ পৃষ্ঠতলের ভিতরে একমাত্র গোলকেরই ধর্ম রয়েছে যে তার উপরে প্রতিটি বিন্দুই তুল্য। আমি মানছি: একটি বৃত্তের পরিধি c-এর সঙ্গে তার ব্যাসার্ধ r-এর অনুপাত r-এর উপর নির্ভরশীল কিন্তু r-এর একটি নির্দিষ্ট (given) মূল্যাঙ্ক সাপেক্ষ "বিশ্বগোলকের" সব বিন্দুর ক্ষেত্রেই এটা অভিন্ন। অন্য কথায় "বিশ্বগোলক" একটি "অচর বক্রতা বিশিষ্ট পৃষ্ঠতল (surface)।"

এই দ্বিমাত্রিক গোলক মহাবিশ্বের একটি ত্রিমাত্রিক উপমা রয়েছে। উপমেয়টি রীম্যান আবিষ্কৃত ত্রিমাত্রিক গোলীয় স্থান। একই রকম ভাবে এর সবকটি বিন্দুই তুল্য। এরও একটি সসীম আয়তন রয়েছে। সেটা নির্ধারিত হয় এর "ব্যাসার্ধ"

দিয়ে $2\pi^2R^3$ । একটি গোলীয় স্থান কল্পনা করা কি সম্ভব? একটি স্থান কল্পনা করার অর্থ "স্থান" সম্পর্কে আমাদের অভিজ্ঞতার সংক্ষিপ্তসার কল্পনা করা ছাড়া আর কিছুই নয়। অর্থাৎ "অনমনীয়" বস্তুপিণ্ড গুলির গতি থেকে আমরা যে অভিজ্ঞতা লাভ করি সেই অভিজ্ঞতা। এই অর্থে আমরা গোলীয় স্থান কল্পনা করতে পারি।

অনুমান করা যাক আমরা সর্বদিকে রেখা অংকন করে কিম্বা তন্তু (string) প্রসারিত করে এক মাপকদণ্ড দিয়ে প্রতিটিতে r দূরত্ব চিহ্নিত করেছি। এই দৈর্ঘ্যগুলির মুক্ত অন্তিমপ্রান্তগুলি একটি গোলীয় পৃষ্ঠতলশায়ী। মাপকদণ্ড দিয়ে প্রস্তুত বর্গক্ষেত্রের সাহায্যে আমরা এই পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল (F) মাপতে পারি। মহাবিশ্ব যদি ইউক্লিডীয় হয় তাহলে $F=4\pi r^2$ । গোলীয় হলে F সব সময়ই $4\pi r^2$ এর চাইতে কম। r-এর মূল্যাংক বাড়ার সংগে F-এর মূল্যাংক শূন্য থেকে সর্বোচ্চে পেঁছায়। এই সর্বোচ্চ মূল্যাংক নির্ধারিত হয় "বিশ্ব ব্যাসার্ধ (world radius) দিয়ে। কিন্তু r-এর মূল্যাংক আর বাড়লে ক্ষেত্রফল ক্রমশ কমে শূন্যে পেঁছায়। যে ঋজুরেখাগুলি প্রারম্ভিক বিন্দু থেকে বিকিরিত হয় প্রথমে সেগুলি পরস্পর থেকে দূরে এবং আরো দূরে অপসৃত হতে থাকে। কিন্তু পরে আবার তারা পরস্পরের সমীপবর্তী হয়ে অন্তিমে প্রারম্ভবিন্দুর একটি "বিপরীত বিন্দুতে" মিলিত হয়। এই অবস্থায় তারা সম্পূর্ণ গোলীয় স্থান পরিভ্রমণ করেছে। সহজেই বোঝা যায় এই ত্রিমাত্রিক গোলীয় স্থানের সংগে দ্বিমাত্রিক গোলীয় পৃষ্ঠতলের যথেষ্ট সাদৃশ্য রয়েছে। এটা সসীম (অর্থাৎ আয়তন এর সীমিত কিন্তু কোন সীমানা এর নেই।

উল্লেখ করা যেতে পারে, এ ধরনের বক্রস্থান আরও এরকম রয়েছে: "উপবৃত্তাকার স্থান" (elliptical space)। একে ভাবা যেতে পারে এমন বক্রস্থান রূপে যার দুটি বিপরীত বিন্দু "অভিন্ন" (একটিকে অন্যটি থেকে পৃথক রূপে চেনা যায় না) সুতরাং একটি উপবৃত্তাকার মহাবিশ্বকে বিচার করা যেতে পারে প্রায় একটি বক্রসহ বিশ্বরূপে, সে মহাবিশ্বের কেন্দ্রে প্রতিসাম্য (symmetry) রয়েছে।

যা বলা হয়েছে তা থেকে বোঝা যায় সীমাহীন বন্ধ স্থান কল্পন সম্ভব। এগুলির ভিতরে গোলীয় স্থান (এবং উপবৃত্তাকার) স্থান সারল্যে সর্বশ্রেষ্ঠ। কারণ এগুলির উপর প্রত্যেকটি বিন্দুই তুল্য। এই আলোচনার ফলে পদার্থবিজ্ঞানী এবং জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের সম্মুখে সবচাইতে আকর্ষণীয় একটি প্রশ্ন উপস্থিত: যে

মহাবিশ্বে আমাদের বাস সেটা কি অসীম না গোলীয় মহাবিশ্বের মতো সসীম। আমাদের অভিজ্ঞতা এ প্রশ্নের উত্তর দেওয়ার মত নয় বরং তার চাইতে অনেক কম কিন্তু ব্যাপক অপেক্ষবাদ আমাদের পরিমিত নিশ্চিতির সঙ্গে এ প্রশ্নের উত্তর দেওয়ার ক্ষমতা দান করে এবং এ প্রসঙ্গে অধ্যায় XXX-এ উল্লিখিত সমস্যার সমাধান মেলে।

XXXII

ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে স্থানের গঠন

ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে স্থানের জ্যামিতিক ধর্ম অন্যনিরপেক্ষ নয় বরং তারা পদার্থ দ্বারা নির্ধারিত। আমরা মহাবিশ্বের জ্যামিতিক গঠন সম্পর্কে শুধু মাত্র তখনই সিদ্ধান্ত করতে পারি যখন আমাদের সে আলোচনার ভিত্তি পদার্থের অবস্থা এবং সে অবস্থা জানিত একটি বিষয়। অভিজ্ঞতা থেকে আমরা জানি উপযুক্ত ভাবে নির্বাচিত একটি স্থানাংকতন্ত্র সাপেক্ষ আলোক বিস্তারের গতিবেগের তুলনায় তারকাগুলির গতিবেগ অল্প। আমরা যদি পদার্থ স্থিতাবস্থায় রয়েছে এই তথ্য মেনে নিয়ে বিচার করি তা হলে পূর্ণরূপে মহাবিশ্বের চরিত্র সম্পর্কে প্রায় আসন্ন (rough approximation) সিদ্ধান্তে আসতে পারি।

পূর্ব আলোচনা থেকে আগেই আমরা জানি যে মাপনদণ্ড এবং ঘড়ির আচরণ মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র অর্থাৎ পদার্থের বণ্টনের (distribution) দ্বারা প্রভাবিত। আমাদের মহাবিশ্বে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির নির্ভুল সত্যতার সম্ভাবনা দূর করার জন্য এ তথ্য স্বতঃতই যথেষ্ট। কিন্তু এ ধারণা করা যেতে পারে যে আমাদের মহাবিশ্বের সঙ্গে ইউক্লিডীয় মহাবিশ্বের পার্থক্য সামান্যই। কারণ গণনায় দেখা যায় পরিবেষ্টনী স্থানের মাত্রামূলক ধর্ম (metrics) ভরের দ্বারা, এমন কি, আমাদের সূর্যের পরিমাণ ভরের দ্বারা অতি সামান্য প্রভাবিত হয়। আমরা কল্পনা করতে পারি জ্যামিতিক ভাবে আমাদের মহাবিশ্বের আচরণ এমন একটি পৃষ্ঠতলের মত যে পৃষ্ঠতল একক অংশগুলিতে অনিয়মিতভাবে বক্র কিন্তু সমতল থেকে বোধগম্য বিচ্যুতি কোথাও নেই। ব্যাপারটা প্রায় হ্রদের ঊর্মিল পৃষ্ঠ তলের মতো এই রকম মহাবিশ্বকে সঠিক ভাবেই প্রায় ইউক্লিডীয় (quasi-Euclidean) এই রকম মহাবিশ্ব বলা যেতে পারে। স্থানের ব্যাপারে এ মহাবিশ্ব হবে অসীম। কিন্তু গণনায় দেখা যায় এই প্রায় ইউক্লিডীয় মহাবিশ্বে পদার্থের গড়

ঘনত্ব শূন্য হওয়া আবশ্যিক। সুতরাং এ রকম একটি মহাবিশ্বের সর্বত্র পদার্থ থাকতে পারে না। থাকলে পরিচ্ছেদ XXX-এ অঙ্কিত অসন্তোষজনক চিত্র আমাদের সামনে উপস্থিত হবে।

মহাবিশ্বে যদি পদার্থের গড় ঘনত্ব এমন পেতে হয় যে সে ঘনত্ব শূন্য থেকে পৃথক, তা হলে সে পার্থক্য যত অল্পই হোক না কেন মহাবিশ্ব কিন্তু প্রায়-ইউক্লিডীয় হতে পারে না। বরং বিপরীত : পদার্থ যদি সমভাবে বণ্টিত হয়ে থাকে মহাবিশ্বকে তা হলে গোলীয় কিম্বা উপবৃত্তাকার হতে হবে। যেহেতু বাস্তবে মহাবিশ্বের পুঙ্খানুপুঙ্খ বণ্টন সমরূপ নয়, সেই জন্য বাস্তব মহাবিশ্বের একক অংশগুলির গোলীয় আকার থেকে বিচ্যুতি হবে অর্থাৎ মহাবিশ্ব হবে প্রায়-গোলীয়। কিন্তু একে অবশ্যই হতে হবে সসীম। আসলে এই তত্ত্ব থেকে আমরা মহাবিশ্বের স্থানবিস্তার এবং পদার্থের গড় ঘনত্বের ভিতরে একটা সহজ সম্পর্ক[1] খুঁজে পাই।

---

1. মহাবিশ্বের "ব্যাসার্ধ" R-এর জন্য আমরা নিম্নলিখিত সমীকরণ পাই :

$$R^2=\frac{2}{k\rho}$$

C. G. S. তন্ত্র ব্যবহার করলে এই সমীকরণ থেকে পাই $\frac{2}{k}=1{\cdot}08.10^{27}$; ρ পদার্থের গড় ঘনত্ব। k নিউটনের মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট একটি ধ্রুবক।

পরিশিষ্ট I

লোরেঞ্জ রূপান্তরের সরল আহরণ
(পরিচ্ছেদ XI-এর সম্পূরক)

চিত্র 2 এ নির্দেশিত স্থানাঙ্কতন্ত্রের আপেক্ষিক দিগ বিন্যাসের (relative orientation) জন্য দুটি তন্ত্রেরই x অক্ষের স্থায়ী সমাপতন ঘটে। যে ঘটনাগুলি x অক্ষের উপর স্থানিক (localised) সেগুলি প্রথম বিচার কোরে বর্তমান ক্ষেত্রে সমস্যাটিকে আমরা নানা অংশে ভাগ করতে পারি। স্থানাঙ্কতন্ত্র K সাপেক্ষ যে কোন ঘটনার প্রতিরূপ ভুজ (abscissa) x এবং কাল t তাছাড়া তন্ত্র K' সাপেক্ষ প্রতিরূপ হবে ভুজ x' এবং t'। x এবং t দেয়া থাকলে x' এবং t' নির্ণয় করা আমাদের প্রয়োজন।

x এর পরা (positive) অক্ষে চলমান একটি আলোক সংকেত নিম্নলিখিত সমীকরণ অনুসারে প্রেরিত হয়

$$x = ct$$

অথবা,

$$x - ct = 0 \ldots\ldots (1)$$

যেহেতু একই আলোক সংকেতকে c গতিবেগে K' সাপেক্ষ প্রেরিত হতে হবে সেই-জন্য K' সাপেক্ষ বিস্তারের প্রতিরূপ হবে সদৃশ সঙ্কেত

$$x' - ct' = 0 \ldots\ldots (2)$$

যে সমস্ত স্থান কাল বিন্দু (ঘটনা) (1) সম্পর্কে সত্য সেগুলিকে অবশ্যই (2) সম্পর্কেও সত্য হতে হবে। এ তথ্য স্পষ্ট প্রতীয়মান যে সম্পর্ক যখন নিম্নলিখিত সংকেত সাধারণ ভাবে পূরণ করে

$$(x' - ct') = \lambda (x - ct) \cdots\cdots (3)$$

ব্যাপারটা তখন ওই রকমই হবে। এ ক্ষেত্রে λ একটি ধ্রুবকের ইঙ্গিত ; কারণ $(x - ct)$ অদৃশ্য হওয়ার সঙ্গে $(x' - ct')$ অদৃশ্য হওয়া জড়িত।

এই রকম বিচার যদি আমরা অপরা (negative) x অক্ষে চলমান আলোক রশ্মির ক্ষেত্রে প্রয়োগ করি তা হলে আমরা নিম্নলিখিত সর্ত পাই :

$$(x' + ct') = \mu (x + ct) \cdots\cdots (4)$$

(3) এবং (4) এই দুই সমীকরণ যোগ (কিম্বা বিয়োগ) করে এবং সুবিধার জন্য ধ্রুবক λ এবং μ এর স্থান ধ্রুবক (a) এবং (b) উপস্থাপন করে, সেখানে

$$a = \frac{\lambda + \mu}{2}$$

এবং

$$b = \frac{\lambda - \mu}{2}$$

সেখানে আমরা পাই নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি

$$\left. \begin{aligned} x' &= ax - bct \\ ct' &= act - bx \end{aligned} \right\} \cdots\cdots (5)$$

সুতরাং ধ্রুবক a এবং b জানা থাকলে আমরা আমাদের সমস্যার সমাধান পেতে

পারি। এগুলি নিম্নলিখিত আলোচনার ফলশ্রুতি।

K' এর প্রারম্ভ (origin) সাপেক্ষ আমাদের স্থায়ী ভাবে রয়েছে $x'=0$। তা হলে সমীকরণ (5) এর প্রথমটি অনুসারে

$$x=\frac{bc}{a}t$$

আমরা যদি K সাপেক্ষ K'-এর প্রারম্ভিক বিন্দুর আপেক্ষিক গতিবেগের নাম দিই v তা হলে আমরা পাই

$$v=\frac{bc}{a} \quad \ldots\ldots(6)$$

আমরা যদি K সাপেক্ষ K' এর অন্য একটি বিন্দুর গতিবেগ গণনা করি কিম্বা যদি K' সাপেক্ষ K-এর একটি বিন্দুর গতিবেগ [অপরা (negative) x অক্ষের অভিমুখী] গণনা করি তা হলে সমীকরণ (5) থেকে একই মূল্যাঙ্ক v পাওয়া যেতে পারে। সংক্ষেপে v-কে আমরা দুটি তন্ত্রের আপেক্ষিক গতিবেগ রূপে নামাঙ্কিত করতে পারি।

তা ছাড়া আপেক্ষিকতার নীতি আমাদের শিক্ষা দেয় K থেকে বিচার করলে K' সাপেক্ষ স্থিতিশীল একটি একক মাপনী দণ্ডের দৈর্ঘ্য এবং K' থেকে বিচার করলে K সাপেক্ষ স্থিতিশীল একটি একক মাপনী দণ্ডের দৈর্ঘ্যের নির্ভুল সমতা থাকবে। K থেকে দৃষ্টিপাত করলে x' অক্ষের বিন্দুগুলি কি রকম দেখায় সেটা প্রত্যক্ষ করতে হলে আমাদের শুধুমাত্র প্রয়োজন "চট করে একটি আলোক চিত্র (snapshot)" গ্রহণ করা। এর অর্থ t-এর একটি বিশেষ মূল্যাঙ্ক (K-এর কাল) আমাদের সন্নিবেশ করতে হবে। যথা, $t=0$। t-এর এই মূল্যাঙ্ক সাপেক্ষ তা হলে আমরা সমীকরণ (5) এর প্রথমটি থেকে পাই

$$x'=ax$$

K' তন্ত্রে মাপা হলে $\triangle x'=1$ দূরত্ব দ্বারা বিচ্ছিন্ন x' অক্ষের দুটি বিন্দু তা

হলে আমাদের তাৎক্ষণিক আলোকচিত্রে নিম্নলিখিত দূরত্ব দ্বারা বিচ্ছিন্ন :

$$\triangle x = \frac{1}{a} \cdots\cdots(7)$$

কিন্তু চট করে তোলা আলোক চিত্রটি যদি K' ($t'=0$) থেকে নেয়া হয় এবং অভিব্যক্তি (expression) (6) কে হিসাবে নিয়ে যদি সমীকরণ (5) থেকে t বাদ দিই তা হলে আমরা পাই :

$$x' = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) x$$

এ থেকে আমাদের সিদ্ধান্ত দূরত্ব 1 (K-সাপেক্ষ) দিয়ে বিচ্ছিন্ন x অক্ষের উপরের দুটি বিন্দুর চট করে নেওয়া আলোক চিত্রে প্রতিরূপ হবে নিম্নলিখিত দূরত্ব দিয়ে :

$$\triangle x' = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdots\cdots(7a)$$

কিন্তু প্রাগুক্ত তথ্যের ভিত্তিতে বলতে হয় এই দুটি চট করে নেয়া আলোকচিত্রকে অবশ্যই অভিন্ন হতে হবে। সুতরাং (7) এর $\triangle x$ কে অবশ্যই (7a) এর $\triangle x'$ সমান হতে হবে। তা হলে আমরা পাই :

$$a^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdots\cdots(7b)$$

(6) এবং (7b) সমীকরণগুলি ধ্রুবক (a) এবং (b) নির্ধারণ করে। (5) এ এই দুটি ধ্রুবকের মূল্য সন্নিবেশ করে আমরা পরিচ্ছেদ XIতে দেয়া সমীকরণগুলির প্রথম এবং দ্বিতীয়টি পাই :

$$\left.\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ t' &= \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(8)$$

এইভাবে আমরা x অক্ষের উপরের ঘটনাগুলি সাপেক্ষ লোরেঞ্জ রূপান্তর পেলাম। এ থেকে নিম্নলিখিত সর্ত পূর্ণ হয়।

$$x'^2 - c^2t'^2 = x^2 - c^2t^2 \cdots\cdots(8a)$$

এইভাবে x-অক্ষের বাইরে যে ঘটনাগুলি ঘটে সেগুলিকে অন্তর্ভুক্ত করার জন্য সমীকরণ (8) কে রক্ষা করে এবং নিম্নলিখিত সম্পর্কের সাহায্যে সেগুলির সম্পূরণ করে এই ফলকে বিস্তৃততর করা হয়

$$\left.\begin{aligned} y' &= y \\ z' &= z \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(9)$$

এইভাবে তন্ত্র K এবং তন্ত্র K' উভয় ক্ষেত্রেই যাদৃচ্ছিক অভিমুখী আলোক রশ্মি সাপেক্ষ শূন্যস্থানে আলোকের গতিবেগ সাপেক্ষ স্বীকার্যকে আমরা সন্দেহ মুক্ত করি। নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে এটা দেখানো যায়।

আমরা অনুমান করি $t = 0$ কালে K-এর প্রারম্ভিক বিন্দু থেকে একটি আলোক সংকেত প্রেরিত। এ সংকেত প্রেরিত হবে নিম্নলিখিত সমীকরণ অনুসারে।

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = ct$$

কিম্বা যদি এই সমীকরণের আমরা বর্গ করি তা হলে সমীকরণ অনুসারে

$$x^2+y^2+z^2-c^2t^2=0\cdots\cdots(10)$$

অপেক্ষবাদের স্বীকার্যের সংযোগে আলোক বিস্তার বিধির চাহিদা : K' থেকে বিচার করলে আলোচ্য আলোক সংকেতের বিস্তার হবে অনুরূপ সূত্র অনুসারে :

$$r'=ct',$$

অথবা,

$$x'^2+y'^2+z'^2-c^2t'^2=0\cdots\cdots(10a)$$

সমীকরণ (10a)-কে যদি সমীকরণ (10)-এর একটা ফলশ্রুতি হতে হয় তা হলে আমাদের অবশ্য প্রাপ্তব্য :

$$x'^2+y'^2+z'^2-c^2t'^2=\sigma\,(x^2+y^2+z^2-c^2t^2)\cdots\cdots(11)$$

যেহেতু সমীকরণ (8a) কে x অক্ষের উপরের বিন্দুগুলি সাপেক্ষ সত্য হতে হবে সেইজন্য $\sigma=1$ আমরা পাই। সহজেই বোঝা যায় লোরেঞ্জ রূপান্তর $\sigma=1$ সাপেক্ষ (11) কে সন্দেহমুক্ত করে কারণ (11) আসলে (8a) এবং (9) এর ফলশ্রুতি। সুতরাং ফলশ্রুতি (8) এবং (9) এরও। এইভাবে লোরেঞ্জ রূপান্তর আমরা সমীকরণ উপপাদন করেছি।

(8) এবং (9)-এ লোরেঞ্জ রূপান্তরের প্রতিরূপ রয়েছে। তার সাধারণীকরণ এখনও প্রয়োজন। একথা স্বতঃপ্রতীয়মান যে K'-এর অক্ষগুলি স্থানে K-এর অক্ষগুলির সঙ্গে সমান্তরালভাবে নির্বাচিত কিনা সে প্রশ্ন মূল্যহীন। K সাপেক্ষ K'-এর স্থানান্তরণ গতিবেগের x-অক্ষের অভিমুখী হবার অবশ্য প্রয়োজনীয়তা কিছু নেই। সরল একটি বিচার থেকে বোঝা যায় : দুই ধরনের রূপান্তর থেকে অর্থাৎ বিশেষ অর্থে লোরেঞ্জ রূপান্তর এবং শুদ্ধ স্থানিক (purely spatial) রূপান্তরগুলি থেকে আমরা এই সাধারণ অর্থে লোরেঞ্জ রূপান্তর গঠন করতে পারি। ব্যাপারটা আয়তাকার (rectangular) স্থানাঙ্কতন্ত্রের স্থলে অন্যমুখী অক্ষগুলি সমেত একটি নূতনতন্ত্র প্রতিস্থাপন করার অনুরূপ।

গাণিতিকভাবে সাধারণীকৃত লোরেঞ্জ রূপান্তরের বৈশিষ্ট্য আমরা নিম্নলিখিত-রূপে প্রকাশ করতে পারি।

এটা x, y, z, t সাপেক্ষ রৈখিক সমঘাতী অপেক্ষকের বাগ্বিধিতে (in terms of linear homogeneous functions)x', y', z', t'কে এমনভাবে প্রকাশ করে যে নিম্নলিখিত সম্পর্ক

$$x'^2+y'^2+z'^2-c^2t'^2=x^2+y^2+z^2-c^2t^2 \quad \text{......(11a)}$$

একরূপে সন্দেহমুক্ত হয় (satisfied identically)। অর্থাৎ আমরা যদি বাঁদিকে x', y', z', t'-এর স্থলে x, y, z, t-তে তাদের প্রকাশ প্রতিস্থাপন করি তাহলে (11a)-এর বাঁ দিকের সঙ্গে ডান দিকের ঐক্য হয়।

পরিশিষ্ট II

মিনকাউস্কির চারমাত্রিক স্থান (বিশ্ব)
(পরিচ্ছেদ XVII এর সম্পূরক)

আমরা যদি কাল পরিবর্তী হিসাবে t-এর স্থলে কাল্পনিক $\sqrt{-1}.ct$ উপস্থাপন করি (introduce) তাহলে আরো সহজে আমরা লোরেঞ্জ রূপান্তরের বৈশিষ্ট্য প্রকাশ করতে পারি। এই অনুসারে যদি আমরা সন্নিবেশ করি

$$x_1 = x$$
$$x_2 = y$$
$$x_3 = z$$
$$x_4 = \sqrt{-1}.ct,$$

এবং একইরূপে তীব্রকৃত (accented) x' সাপেক্ষ সন্নিবেশ করে, তাহলে রূপান্তরের সাহায্যে অভিন্নরূপে সন্দেহমুক্ত যে অবস্থা তাকে এইভাবে প্রকাশ করা যায় :

$$x_1'^2 + x_2'^2 + x_3'^2 + x_4'^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 \ldots\ldots(12)$$

অর্থাৎ উপরে উল্লিখিত স্থানাংক নির্বাচনের ফলে (11a) এই সমীকরণে রূপান্তরিত।

(12) থেকে আমরা দেখতে পাই কাল্পনিককাল নির্দেশক x_4 নির্ভুলভাবে স্থান নির্দেশক x_1, x_2, x_3-এর মতই রূপান্তরের সর্তে নিয়ন্ত্রক নিয়মে যুক্ত হয়। ঠিক এই জন্যই অপেক্ষবাদ অনুসারে প্রাকৃতিক বিধিগুলিতে স্থান নির্দেশক x_1, x_2, x_3

যেভাবে প্রবেশ "কাল" নির্দেশক x_4ও প্রবেশ করে সেই ভাবেই।

নির্দেশক x_1, x_2, x_3, x_4-এর সাহায্যে বর্ণনা করা একটি চার মাত্রিক সাংতত্যকের নাম মিনকাউস্কি দিয়েছিলেন "বিশ্ব" একটি "বিন্দু ঘটনার" (point event) নাম তিনি দিয়েছিলেন "বিশ্ব বিন্দু (world point)", ত্রিমাত্রিক স্থানে সংঘটিত একটি ঘটনা থেকে পদার্থবিদ্যা যেন উত্তীর্ণ হয়েছে চারমাত্রিক "বিশ্বে" একটি "অস্তিত্বে"।

এই চারমাত্রিক "বিশ্বের" সঙ্গে (ইউক্লিডীয়) বৈশ্লেষিক জ্যামিতির (analytical geometry) ত্রিমাত্রিক "স্থানের" নিকট সাদৃশ্য রয়েছে। শেষোক্তটিতে যদি আমরা একই প্রারম্ভিক বিন্দুর সঙ্গে নূতন কার্তেজীয় স্থানাঙ্কতন্ত্র সন্নিবেশ করি x_1', x_2', x_3' হয় x_1, x_2 এবং x_3-এর রৈখিক সমঘাতী অপেক্ষক (linear homogenous functions)। সেটা অভিন্নরূপে নিম্নলিখিত সমীকরণকে সন্দেহমুক্ত (satisfy) করে :

$$x_1'^2 + x_2'^2 + x_3'^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^3$$

(12)-এর সঙ্গে সাদৃশ্য সম্পূর্ণ। রীতির (formal) দিক থেকে আমরা মিনকাউস্কির "বিশ্বকে" একটি চারমাত্রির ইউক্লিডীয় স্থানরূপে (কাল্পনিক কাল নির্দেশকসহ) ভাবতে পারি। লোরেঞ্জ রূপান্তর চারমাত্রিক "বিশ্বে" নির্দেশক তন্ত্রের "আবর্তনের" অনুরূপ।

পরিশিষ্ট III

ব্যাপক অপেক্ষবাদের পরীক্ষাভিত্তিক প্রমাণ

একটি প্রয়োগজ বিজ্ঞানের বিবর্তন পদ্ধতিকে সুসম্বন্ধ তাত্ত্বিক দৃষ্টিভঙ্গি থেকে, আমরা কল্পনা করতে পারি একটি অবিচ্ছিন্ন অবরোহী পদ্ধতিরূপে (a continuous process of induction)। একাধিক তত্ত্ব বিবর্তিত হয় (evolved) এবং স্বল্প বিস্তারে (short compass) তাদের প্রকাশ. আসলে প্রয়োগজ বিধির অবয়বে বহুসংখ্যক একক পর্যবেক্ষণের বর্ণনা। সেই বিধিগুলি থেকে তুলনার সাহায্যে সাধারণ বিধি নির্ধারণ করা যায়। এইভাবে বিবেচনা করলে বিজ্ঞানের বিকাশের সঙ্গে শ্রেণীবদ্ধ একটি তালিকা সংকলনের খানিকটা সাদৃশ্য রয়েছে। এ যেন একটি শুদ্ধ প্রয়োগজ উদ্যোগ।

কিন্তু বাস্তব পদ্ধতি সম্পূর্ণভাবে এই দৃষ্টিভঙ্গির অন্তর্ভুক্ত নয়। কারণ এই দৃষ্টিভঙ্গি নির্ভুল বিজ্ঞানের বিকাশে অবরোহী (deductive) চিন্তাধারা এবং স্বজ্ঞার (intuition) গুরুত্বপূর্ণ বিকাশের উপরে দোষারোপ করে। একটি বিজ্ঞান যখন তার প্রারম্ভিক স্তর থেকে উত্তীর্ণ হয় তখন তার তাত্ত্বিক অগ্রগতি শুধুমাত্র বিন্যাস পদ্ধতির সাহায্যে হয় না। অনুসন্ধানীর বরং পরীক্ষালব্ধ উপাত্তের পরিচালনায় এমন একটি চিন্তাধারা বিকাশলাভ করে, যে চিন্তাধারা সাধারণভাবে অল্প কয়েকটি মৌলিক অনুমান অর্থাৎ তথাকথিত স্বতঃসিদ্ধ (axioms) থেকে যুক্তির সাহায্যে গঠিত। এই চিন্তাধারার নাম আমরা দিয়েছি তত্ত্ব (theory)। বহুসংখ্যক একক তথ্যকে তত্ত্ব সংযুক্ত করে। এটাই তত্ত্বের অস্তিত্বের স্বপক্ষে যুক্তি। তত্ত্বের "সত্যতার" আসনও এখানেই।

একই প্রয়োগজ উপাত্তজালের অনুরূপ বহু তত্ত্ব থাকতে পারে এবং তাদের ভিতর পার্থক্যও থাকতে পারে যথেষ্ট। কিন্তু তত্ত্বগুলি থেকে অবরোহী প্রণালীতে গৃহীত

পরীক্ষাযোগ্য সিদ্ধান্তগুলির ভিতরে ঐক্য এমন সম্পূর্ণ হওয়া সম্ভব যে হয়তো এরকম কোন অবরোহী সিদ্ধান্ত পাওয়া কঠিন যে ক্ষেত্রে দুটি তত্ত্বের পারম্পরিক পার্থক্য রয়েছে। উদাহরণ : জীববিদ্যাভুক্তি (provinces) থেকে সাধারণভাবে আকর্ষণীয় একটি বিষয় পাওয়া যায়। সে বিষয় : অস্তিত্বের সংগ্রামের ফলে প্রজাতির (species) বিকাশ সম্পর্কে ডারউইনীয় তত্ত্ব এবং যে তত্ত্বে অর্জিত বৈশিষ্ট্য পুরুষানুক্রমে প্রেরণ সম্পর্কীয় প্রকল্পকে বিকাশের ভিত্তিরূপে গ্রহণ করা হয়।

সুদূরপ্রসারী আর একটি ঐক্যের দৃষ্টান্ত আমাদের রয়েছে, নিম্নে উল্লিখিত দুটি তত্ত্ব থেকে গৃহীত অবরোহী সিদ্ধান্তগুলির ঐক্যে। এ দুটি তত্ত্ব হোল একদিকে নিউটনীয় বলবিদ্যার তত্ত্বগুচ্ছ এবং অন্যদিকে ব্যাপক অপেক্ষবাদ। এই ঐক্য এত দূরগামী যে এ পর্যন্ত আমরা ব্যাপক অপেক্ষবাদ থেকে এ রকম সামান্য কয়েকটি মাত্র অবরোহী সিদ্ধান্ত খুঁজে পেয়েছি যেগুলি সম্পর্কে অনুসন্ধান সম্ভব এবং প্রাক-অপেক্ষবাদ পদার্থবিদ্যা যেগুলির পথিকৃৎ নয়। দুটি তত্ত্বের মৌল অনুমানগুলির ভিতরে গভীর পার্থক্য সত্ত্বেও এ ঘটনা সত্য। পরবর্তী অংশে এই গুরুত্ব-পূর্ণ অবরোহী সিদ্ধান্তগুলি নিয়ে আবার আমরা বিচার করবো এবং এ সম্পর্কে আজ পর্যন্ত যে সমস্ত পরীক্ষাভিত্তিক সিদ্ধান্ত পাওয়া গিয়েছে, আলোচনা করবো সেগুলি নিয়েও।

(a) বুধগ্রহের অনুসূরের (perihelion—গ্রহের কিম্বা ধূমকেতুর যে বিন্দু নিকটতম) গতি।

নিউটনীয় বলবিদ্যা এবং নিউটনীয় মহাকর্ষবিধি অনুসারে সূর্যকে পরিবেষ্টন করে আবর্তনশীল একটি গ্রহ সূর্যের সর্বপার্শ্বে একটি উপবৃত্ত রচনা করবে কিংবা আরো নির্ভুলভাবে বলা চলে : সূর্য এবং গ্রহের সাধারণ ভারকেন্দ্র পরিবেষ্টন করে উপবৃত্ত রচনা করবে। এই রকম একটি তন্ত্রে সূর্য অথবা সাধারণ ভারকেন্দ্র কক্ষের উপবৃত্তের একটি ফোকাসে (focus-নাভি) এমনভাবে অবস্থান করে যে, এক গ্রহ-বৎসরকালের ভিতরে সূর্য-গ্রহ দূরত্ব সর্বনিম্ন থেকে বাড়তে বাড়তে সর্বোচ্চে পৌঁছোয় এবং তারপর কমতে থাকে সর্বনিম্ন পর্যন্ত। নিউটনীয় বিধির বদলে আমরা যদি আকর্ষণ সম্পর্কে একটু পৃথক একটি বিধি গণনায় সন্নিবেশ করি তা হলে আমরা দেখি, গতি তখনো এমনভাবে চলতে থাকে যে সূর্য-গ্রহ দূরত্বে পর্যায়ক্রমে পরিবর্তন দেখা যায়। কিন্তু এ রকম একটি পর্যায়কালে (অনুসূর—অর্থাৎ সূর্যের নিকটতম অবস্থান থেকে—অনুসূর) সূর্যের সঙ্গে গ্রহের সংযোগকারী রেখা যে কোণ (angle) অঙ্কন করে সেই কোণ (angle) এবং 360° ডিগ্রীর ভিতরে পার্থক্য

থাকে। কক্ষরেখা তখন বন্ধ রেখা হবে না কিন্তু কালে কালে এই কক্ষরেখা কক্ষতলের একটি বলয়াকৃতি অংশ পূর্ণ করবে অর্থাৎ পূর্ণ করবে সূর্য থেকে গ্রহটির বৃহত্তম দূরত্ববৃত্ত এবং নিম্নতমদূরত্ব বৃত্তের মধ্যবর্তী অংশ।

ব্যাপক অপেক্ষবাদ এবং নিউটনীয় তত্ত্বের ভিতরে পার্থক্য নিশ্চয়ই রয়েছে। পূর্বোক্ত তত্ত্ব অনুসারেও নিজস্ব কক্ষস্থিত একটি গ্রহের নিউটন—কেপলারীয় গতির সামান্য পরিবর্তন হবে। এ পার্থক্যের রূপ : একটি অনুসূর থেকে পরবর্তী অনুসূর অবধি সূর্য—গ্রহ ব্যাসার্ধ যে কোণ (angle) অংকন করে সেটা হবে একটি পূর্ণ আবর্তনের অনুরূপ পরিমাণের চাইতে নিম্নলিখিত পরিমাণে বেশী ঃ

$$+\frac{24\pi^3 a^2}{T^2 c^2 (1-e^2)}$$

[দ্রষ্টব্য—একটি পূর্ণ আবর্তন, পদার্থবিদ্যার রীতিসম্মত অনপেক্ষ কৌণিক মাপনে (absolute angular measure) 2π কোণের অনুরূপ এবং উপরের রাশি থেকে আমরা পাই একটি অনুসূর থেকে পরবর্তী অনুসূরের মধ্যবর্তী কালে সূর্য-গ্রহ ব্যাসার্ধ এই কোণের চাইতে কতটা বেশী কোণ সৃষ্টি করে সেই পরিমাণ।] এই অভিব্যক্তিতে a উপবৃত্তের অর্ধ পরাক্ষের অনুরূপ e তার উৎকেন্দ্রিকতা (eccentricity) c আলোকের গতিবেগ এবং T-গ্রহটির আবর্তনকাল। আমাদের ফলশ্রুতি নিম্নলিখিত রূপেও প্রকাশ করা যায় : ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে কক্ষপথে গ্রহের গতি যে অর্থ বহন করে উপবৃত্তের পরাক্ষ (Major axis) সেই অর্থে সূর্যকে পরিবেষ্টন করে আবর্তিত হয়। তত্ত্বের চাহিদা : বুধগ্রহ সাপেক্ষ এই আবর্তনের পরিমাণ হবে এক শতাব্দীতে চাপের 43 সেকেণ্ড। কিন্তু আমাদের সৌরতন্ত্রের অন্য গ্রহগুলি সাপেক্ষ এই পরিমাণ এত কম হবে যে স্বভাবতই সেটা ধরা পড়বে না।[1]

আসলে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা দেখেছেন আধুনিক যুগে লভ্য পর্যবেক্ষণের সূক্ষ্মতার অনুরূপ নির্ভুলতার সঙ্গে বুধের পর্যবেক্ষণ করা গতি গণনা করার পক্ষে নিউটনীয় তত্ত্ব যথেষ্ট নয়। বুধের উপর অন্যান্য গ্রহের সমস্ত স্থিরত্বনাশক প্রভাব গণনার ভিতরে গ্রহণ করেও দেখা গিয়েছে (লেভেরিয়ার—Leverrier —1859

---

1. কারণ, বিশেষ করে পরের গ্রহ শুক্রের কক্ষ প্রায় নির্ভুল একটি বৃত্ত। তার ফলে নির্ভুলভাবে অনুসূর নির্ধারণ করা খুবই কঠিন।

এবং নিউকম্ব—Newcomb-1895) বুধের কক্ষের অনুসূরের প্রান্তিক গতির এমন একটি অবশিষ্টাংশ ছিল যেটা ব্যাখ্যা করা যায় নি। তার পরিমাণের সঙ্গে উপরে উল্লিখিত শতাব্দীতে $+43$ সেকেন্ড চাপের পার্থক্য—অবধারণীয় নয়। পরীক্ষালব্ধ ফলের অনিশ্চিতির পরিমাণ কয়েক সেকেন্ড মাত্র।

একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের দ্বারা আলোকের বিক্ষেপ

পরিচ্ছেদ XXII -তে আগেই উল্লেখ করা হয়েছে : ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে একটি আলোকরশ্মি একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে যাবার সময় তার গতি-পথের বক্রতা অনুভব করবে। এ বক্রতা হবে একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে প্রক্ষিপ্ত একটি বস্তুপিণ্ড যে বক্রতা অনুভব করে তার সমরূপ। এই তত্ত্বের ফলশ্রুতিরূপে আমাদের আশা করা উচিত যে, মহাকাশের একটি বস্তুপিণ্ডের সান্নিধ্যে চলমান একটি আলোকের রশ্মি বস্তুপিণ্ডটির অভিমুখে বিচ্যুত হবে। সূর্যের কেন্দ্র থেকে $\triangle$ ব্যাসার্ধ দূরত্বে গমনশীল একটি আলোক রশ্মি সাপেক্ষ বিক্ষেপ কোণ (angle of deflection) (α) এর পরিমাণ হওয়া উচিত :

$$\alpha = \frac{1{\cdot}7 \text{ seconds of arc}}{\triangle}$$

এখানে আরো বলা যেতে পারে যে, তত্ত্ব অনুসারে এই বিক্ষেপের অর্ধেক উৎপন্ন হয় সূর্যের নিউটনীয় আকর্ষণক্ষেত্রের দ্বারা এবং অবশিষ্ট অর্ধেক উৎপন্ন হয় সূর্যকৃত স্থানের জ্যামিতিক বক্রতার (curvature) দ্বারা।



চিত্র 5

সূর্যের পূর্ণগ্রহণের সময় আলোক চিত্রের দ্বারা তারকাগুলির নিবন্ধনের (registration) সাহায্যে এই ফলশ্রুতির বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা সম্ভব। পূর্ণ-গ্রহণের জন্য আমাদের অপেক্ষা করার একমাত্র কারণ এই যে অন্য সময় সূর্যের আলোয় আবহাওয়া এত তীব্র ভাবে আলোকিত থাকে যে সূর্যচক্রের নিকটের তারকাগুলি দেখা যায় না। যে অভিক্রিয়া সম্পর্কে ভবিষ্যৎবাণী করা হয়েছিল সহগামী চিত্র থেকে সেটা স্পষ্ট দেখা যায়। সূর্য (S) যদি উপস্থিত না থাকত তা হলে যে তারকা কার্যত অসীম দূরত্বে অবস্থিত, পৃথিবী থেকে পর্যবেক্ষণ করলে সে

তারকাকে D_1 অভিমুখে দেখা যেত। কিন্তু সূর্যের দরুণ তারকার আলোক বিক্ষেপ হবার ফলে তারকাটিকে D_2 অভিমুখে দেখা যাবে অর্থাৎ সূর্যের কেন্দ্র থেকে তার বাস্তব অবস্থানের অনুরূপ দূরত্বে না হয়ে একটু বেশী দূরত্বে দেখা যাবে।

কার্যক্ষেত্রে এ প্রশ্ন পরীক্ষা করা হয় নিম্নলিখিত উপায়ে। একটি সূর্য-গ্রহণের সময় সূর্যের সান্নিধ্যের তারকাগুলির একটি আলোক চিত্র গ্রহণ করা হয়। তা ছাড়া সূর্য যখন পৃথিবীর অন্য অংশে অবস্থিত তখন, অর্থাৎ কয়েক মাস আগে কিম্বা পরে গ্রহণ করা হয় একই তারকাগুচ্ছের অন্য একটি আলোকচিত্র। প্রমাণ (standard) আলোকচিত্রের তুলনায় গ্রহণ-আলোকচিত্রে (eclipse-photograph) তারকাগুলির অবস্থান অরীয়ভাবে (radially) বহির্দিকে বিচ্যুত দেখান উচিত (অর্থাৎ সূর্যের কেন্দ্র থেকে দূরে)। এ বিচ্যুতির পরিমাণ হওয়া উচিত ∝ কোণের অনুরূপ।

এই গুরুত্বপূর্ণ অবরোহী সিদ্ধান্ত সম্পর্কে অনুসন্ধানের জন্য রয়্যাল সোসাইটি (Royal Society রাজকীয় সমিতি ব্রিটিশ যুক্তরাজ্য) এবং রয়্যাল এ্যাষ্ট্রনমিক্যাল সোসাইটির (Royal Astronomical Society—রাজকীয় জ্যোতির্বিজ্ঞান সমিতি ব্রিটিশ যুক্তরাজ্য) কাছে আমরা কৃতজ্ঞ। যুদ্ধ এবং যুদ্ধ-সৃষ্ট বাস্তব এবং মানসিক সংকটে ভীত না হয়ে এই সমিতিগুলি সোব্রাল (Sobral ব্রেজিল) ও প্রিন্সিপে (Principe পশ্চিম আফ্রিকা) দুটি অভিযান সুসজ্জিত করেছিলেন এবং ব্রিটেনের সব চাইতে বিখ্যাত কয়েকজন জ্যোতির্বিজ্ঞানীকে পাঠিয়ে ছিলেন (এডিংটন Eddington, কটিংহ্যাম Cottingham, ক্রোমেলিন Crommelin ডেভিডসন Davidson)। উদ্দেশ্য ছিল 1919 সালের 29 শে মে তারিখের সূর্যগ্রহণের আলোক চিত্র গ্রহণ করা। গ্রহণের সময় তোলা তারকার আলোকচিত্র এবং তুলনীয় আলোকচিত্রগুলির যে আপেক্ষিক অসঙ্গতি আশা করা গিয়েছিল তার পরিমাণ ছিল এক মিলিমিটারের কয়েক শতাংশ (few hundredths of a millimetre) মাত্র। সুতরাং আলোকচিত্র গ্রহণের জন্য সমন্বয়ে (adjustment) এবং পরবর্তী মাপনের সময়, প্রয়োজন ছিল আত্যন্তিক নির্ভুলতার।

মাপনের ফল অত্যন্ত সন্তোষজনক ভাবে তত্ত্বের সত্যতা প্রমাণ করেছে। তারকাগুলির (চাপের সেকেন্ড হিসাবে) গণনা করা এবং পর্যবেক্ষণ করা আয়তাকার (rectangular) উপাদানগুলি নিম্নলিখিত সারণীতে (table) দেওয়া হয়েছে :

তারকার	প্রথম নির্দেশক		দ্বিতীয় নির্দেশক	
সংখ্যা	পর্যবেক্ষণ করা	গণনা করা	পর্যবেক্ষণ করা	গণনা করা
11	−0·19	−0·22	+0·16	+0·02
5	+0·29	+0·31	−0·46	−0·43
4	+0·11	+0·10	+0·83	+0·74
3	+0·20	+0·12	+1·00	+0·87
6	+0·10	+0·04	+0·57	+0·40
10	−0·08	+0·09	+0·35	+0·32
2	+0·95	+0·85	−0·27	−0·09

(c) বর্ণালী রেখাগুলির লাল অভিমুখী স্থানচ্যুতি

পরিচ্ছেদ XXIII-তে দেখানো হয়েছে যে একটি গ্যালিলীয় তন্ত্র K সাপেক্ষ আবর্তনশীল একটি তন্ত্র K' এতে যদি অভিন্নগঠনের একাধিক ঘড়ি থাকে এবং সেগুলিকে যদি আবর্তনশীল নির্দেশ বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ স্থিতিশীল বিবেচনা করা হয় তা হলে ঘড়িগুলির চলনের হার তাদের অবস্থানের উপর নির্ভরশীল হবে। এখন আমরা এই নির্ভরশীলতা পরিমাণগতভাবে বিচার করব। চাকতির কেন্দ্র থেকে r দূরে অবস্থিত একটি ঘড়ির K সাপেক্ষ গতিবেগ পাওয়া যায় নিম্ন সংকেত থেকে :

$$v = wr$$

w এ ক্ষেত্রে K সাপেক্ষ চাকতি K' এর আবর্তনের কৌণিক গতিবেগের প্রতিরূপ। ঘড়িটি যখন স্থিতিশীল তখন, সময়ের প্রতিটি এককে (ঘড়িটির 'হার'-'rate') K-সাপেক্ষ ঘড়িটির সময় বিজ্ঞাপক সংকেতের সংখ্যা যদি v_0 হয়, তাহলে ঘড়িটি যখন K সাপেক্ষ v গতিবেগে চলমান কিন্তু চাকতি সাপেক্ষ স্থিতিশীল তখন পরিচ্ছেদ XII অনুসারে ঘড়িটির 'হার' (rate) (v) পাওয়া যাবে নিম্নলিখিত-ভাবে :

$$v = v_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

অথবা যথেষ্ট নির্ভুলতার সঙ্গে নিম্নলিখিত রাশির সাহায্যে :

$$\nu=\nu_0\left(1-\tfrac{1}{2}\cdot\frac{v^2}{c^2}\right)$$

এই অভিব্যক্তি নিম্নলিখিত অবয়বেও প্রকাশ করা যায় :

$$\nu=\nu_0\left(1-\frac{1}{c^2}\frac{w^2r^2}{2}\right)$$

আমরা যদি ঘড়ির অবস্থান এবং চাকতির কেন্দ্রের ভিতরে অপকেন্দ্রী (centrifugal) বলের বিভব পার্থক্যের (difference of potential of the centrifugal force) প্রতিরূপ অনুমান করি ϕ অর্থাৎ আবর্তনশীল চাকতির উপর ঘড়ির অবস্থান থেকে চাকতির কেন্দ্রে এক একক ভরকে অপকেন্দ্রী বলের বিরুদ্ধে বহন করার জন্য কার্যকে (work) অপরা (negative) ভাবে বিচার করলে আমরা পাই :

$$\phi=-\frac{w^2r^2}{2}$$

এর ফলশ্রুতি

$$\nu=\nu_0\left(1+\frac{\phi}{c^2}\right)$$

প্রথমত এই অভিব্যক্তি থেকে আমরা দেখতে পাই চাকতির কেন্দ্র থেকে বিভিন্ন দূরত্বে অবস্থিত অভিন্ন গঠনের দুটি ঘড়ির গতির হার ভিন্ন হবে। এই বিচারের ফল চাকতির সঙ্গে আবর্তনশীল একজন পর্যবেক্ষকের দৃষ্টিভঙ্গি থেকেও সত্য।

এখন, চাকতি থেকে পর্যবেক্ষণ করলে শেষোক্তটির অবস্থান ϕ বিভব (potential) সম্পন্ন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে। সুতরাং আমাদের প্রাপ্ত ফল সাধারণভাবে মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রগুলি সম্পর্কেও সত্য হবে। অধিকন্তু, যে পরমাণু থেকে বর্ণালী রেখা বিকিরিত হচ্ছে তাকে আমরা একটি ঘড়ি হিসাবে বিচার করতে পারি। সুতরাং নিম্নলিখিত বিবৃতি সত্য হবে :

“একটি পরমাণু যে আলোক বিকিরণ (emit) করে কিম্বা বিশোষণ (absorbs) করে তার স্পন্দাংক (কম্পন সংখ্যা frequency) যেখানে সেই পরমাণুর অবস্থান সেখানকার মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের বিভবের (potential of the gravitational

field) উপর নির্ভরশীল।"

মহাকাশের একটি বস্তুপিণ্ডের পৃষ্ঠে অবস্থিত একটি পরমাণুর স্পন্দাংক মুক্তস্থানে (free space) অবস্থিত (কিংবা মহাকাশের ক্ষুদ্রতর বস্তুপিণ্ডের পৃষ্ঠে অবস্থিত) একই মৌলিক পদার্থের একটি পরমাণুর স্পন্দাংকের তুলনায় কম হবে।

এখন, $\phi = -K\frac{M}{r}$, এখানে K নিউটনের মহাকর্ষীয় ধ্রুবক এবং M-মহাকাশের বস্তুপিণ্ডের ভর। সুতরাং পৃথিবীর পৃষ্ঠে উৎপন্ন মৌলিক পদার্থগুলির বর্ণালী রেখার তুলনায় তারকার পৃষ্ঠে উৎপন্ন একই মৌলিক পদার্থের বর্ণালী রেখাগুলির লাল অভিমুখে স্থানচ্যুতি হওয়া উচিত। স্থানচ্যুতির পরিমাণ হবে :

$$\frac{\nu_0 - \nu}{\nu_0} = \frac{KM}{c^2 r}.$$

সূর্যের ক্ষেত্রে, লাল অভিমুখে স্থানচ্যুতির তত্ত্বকৃত ভবিষ্যদ্‌বাণীর পরিমাণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কুড়ি লক্ষ ভাগের একভাগ। তারকাগুলির ক্ষেত্রে বিশ্বাসযোগ্য গণনা সম্ভব নয়। কারণ ভর M কিম্বা ব্যাসার্ধ r কোনটাই জানা নেই।

এই অভিক্রিয়ার (effect) অস্তিত্ব আছে কি নেই সে প্রশ্নের উত্তর এখনও মেলে নি। বর্তমানে (1920 সালে) জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা বিরাট উৎসাহের সঙ্গে উত্তর পাবার চেষ্টা করছেন। সূর্যের ক্ষেত্রে এই অভিক্রিয়ার ক্ষুদ্রতার দরুণ এর অস্তিত্ব সম্পর্কে মতামত গঠন করা কঠিন। একদিকে যেমন গ্রেব (Grebe) এবং ব্যাশেম (Bachem) (বন Bonn) তাঁদের নিজেদের মাপনের ফলে এবং এভারশেড (Evershed) এবং সোয়ার্জচাইল্ডের (Sehwarzschild) সায়ানোজেন ব্যাণ্ডে (cyanogen bands) মাপনের ফলে এ অভিক্রিয়ার অস্তিত্ব প্রায় সন্দেহাতীত করেছেন অন্যদিকে আবার অপর অনুসন্ধানীরা, বিশেষত সেণ্ট জন (St. John) তাঁদের মাপনের ফলে বিপরীত মতের পথনির্দেশ পেয়েছেন।

রেখাগুলির বর্ণালীর স্বল্প প্রতিসরণশীল (frangble) প্রান্তমুখী মধ্যক (mean) স্থানচ্যুতি স্থির তারকাগুলির পরিসাংখ্যিক অনুসন্ধানে নিশ্চয়ই প্রকাশিত হয়েছে। কিন্তু এখন পর্যন্ত প্রাপ্তিসাধ্য উপাত্তগুলির পরীক্ষার সাহায্যে স্থানচ্যুতিগুলিকে বাস্তবে মহাকর্ষের অভিক্রিয়ার উপর আরোপ করা যায় কিনা সে সম্পর্কে নিশ্চিত সিদ্ধান্তে আসা অনুমোদনীয় নয়। ই. ফ্রয়েণ্ডলিশ,(E. Freun-

dlich) এর "জ্যুর প্রুফাং ডের আলজমিনেন রিলেটিভিটাটস থিওরী (Zur Priifung der aligemeinen Retaivitats Theorie") [ডাই নেচার বিসেনশ্যাফটেন 1919 নম্বর 35 পৃ: 520 ; জুলিয়াস স্প্রিংগার, বার্লিন—Dir Naturwissen-Schaften, 1919, No. 35, P-520. Julius Springer, Berlin) নামক প্রবন্ধে পর্যবেক্ষণের ফলগুলি একসঙ্গে সংগ্রহ করা হয়েছে এবং যে প্রশ্ন এখানে আমাদের মনোযোগ আকর্ষণ করছে সেই দৃষ্টিভঙ্গি থেকে বিস্তৃত-ভাবে আলোচনা করা হয়েছে।

যাই হোক আগামী কয়েক বছরে একটি নিশ্চিত সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যাবে। মহাকর্ষীয় বিভবে বর্ণালীরেখার লাল অভিমুখে স্থানচ্যুতির অস্তিত্ব যদি না থাকে তাহলে ব্যাপক অপেক্ষবাদ গ্রহণযোগ্য হবে না। অন্যদিকে বর্ণালী রেখার স্থানচ্যুতির কারণ যদি নিশ্চিত ভাবে মহাকর্ষীয় বিভবের উপর আরোপ করা যায় তা হলে, এই স্থানচ্যুতিপাঠ মহাকাশের বস্তুপিন্ডগুলির ভর সম্পর্কে আমাদের গুরুত্বপূর্ণ সংবাদ সরবারাহ করবে।

পাদটীকা : সিরিয়াসের (Sirius) ঘন সহচর পর্যবেক্ষণের সাহায্যে এ্যাডামস্ (Adams) 1924 সালে বর্ণালী রেখাগুলির বর্ণালীর লাল প্রান্ত অভিমুখী স্থানচ্যুতি নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন। এই অভিক্রিয়া সূর্যের অভিক্রিয়ার চাইতে প্রায় ত্রিশগুণ বেশী।

আর. ডবল্যু, লসন।

পরিশিষ্ট IV

ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে স্থানের গঠন
[পরিচ্ছেদ **XXXII** এর সম্পূরক ।]

এই ক্ষুদ্র পুস্তকের প্রথম সংস্করণ প্রকাশিত হবার পর স্থান সম্পর্কে আমাদের সাধারণ (at large) জ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ বিকাশ হয়েছে (বিশ্বতত্ত্ব সমস্যা cosmological problem)। এ বিষয়ে সাধারণ লোকের জন্য লেখাতেও সেটা উল্লেখ করা উচিত।

এ বিষয়ে আমার প্রারম্ভিক বিচারের ভিত্তি ছিল দুটি প্রকল্প :

(1) সমগ্র স্থানে পদার্থের একটি গড় ঘনত্ব রয়েছে। সে ঘনত্ব সর্বত্র সমান এবং শূন্যের চাইতে বেশী।

(2) স্থানের পরিমাণ (ব্যাসার্ধ radius) কাল নিরপেক্ষ।

ব্যাপক অপেক্ষবাদ অনুসারে এই দুটি প্রকল্পই সঙ্গতিপূর্ণ প্রমাণ হয়েছে। কিন্তু প্রমাণ হয়েছে শুধুমাত্র ক্ষেত্র সমীকরণগুলিতে একটি অনুমানাত্মক পদ (hypothetical term) যোগ করার পর। এ তত্ত্বে সে ভাবে এ পদের কোন প্রয়োজন ছিল না এবং তাত্ত্বিক দৃষ্টিভঙ্গি থেকেও এ পদকে স্বাভাবিক মনে হয় নি। [ক্ষেত্র সমীকরণগুলির বিশ্বতত্ত্ব বিষয়ক পদ (cosmological term of the field equation)]।

তখন আমার মনে হয়েছিল দ্বিতীয় প্রকল্পটি এড়িয়ে যাওয়া অসম্ভব। আমি ভেবেছিলাম এ থেকে বিচ্যুত হলে দূরকল্পনার (speculation) আর অন্ত থাকবে না।

ইতিমধ্যে কুড়ির দশকে কিন্তু রুশ গণিতবিদ ফ্রিডম্যান দেখিয়েছিলেন : শুদ্ধ তাত্ত্বিক দিক থেকে ভিন্ন একটি প্রকল্প স্বাভাবিক। তিনি বুঝতে পেরেছিলেন কেউ যদি দ্বিতীয় প্রকল্পটি পরিত্যাগ করতে রাজি থাকেন তা হলে মহাকর্ষের ক্ষেত্র

সমীকরণগুলিতে স্বল্পতর স্বাভাবিক (less natural) বিশ্বতত্ত্ব সম্পর্কীয় পদ ব্যবহার না করলেও প্রথম প্রকল্প (1) রক্ষা করা সম্ভব। অর্থাৎ মূল ক্ষেত্র সমীকরণ-গুলির সে স্থলেই সমাধান হতে পারে যে স্থলে "মহাবিশ্বের ব্যাসার্ধ (world radius)" কালের উপর নির্ভরশীল (সম্প্রসারণশীল মহাবিশ্ব expanding universe)। এই অর্থে বলা যেতে পারে ফ্রিডম্যানের (Friedman) মতানুসারে তত্ত্বের দাবী সম্প্রসারণশীল স্থান।

হাবল (Hubble) কয়েক বছর পর "ছায়াপথ (milky ways)" বহির্ভূত নীহারিকা সম্পর্কে বিশেষ অনুসন্ধান করে দেখিয়েছিলেন বিকীরিত বর্ণালী-রেখাগুলিতে লালের অভিমুখে স্থানচ্যুতি দেখা যায় এবং এই স্থানচ্যুতি নীহারিকার দূরত্বের সঙ্গে নিয়মিত বৃদ্ধি পায়। আমাদের বর্তমান জ্ঞান সাপেক্ষ, এ তথ্য ডপলার 'নীতির (Doppler's principle) অর্থে' মুক্ত তারকাতন্ত্রের সম্প্রসারণশীল গতি হিসাবে ব্যাখ্যা করা যায়। ফ্রীড্‌ম্যানের (Friedman) মতানুসারে মহাকর্ষের ক্ষেত্র সমীকরণগুলির এটাই চাহিদা। সুতরাং হাবলের দাবী অনেকটা তত্ত্বের প্রমাণ বলে গ্রহণ করা যেতে পারে।

কিন্তু অদ্ভুত একটি সংকট উপস্থিত। হাবলের আবিষ্কৃত ছায়াপথের রেখার স্থানচ্যুতির (তাত্ত্বিক দিক থেকে এ সম্পর্কে সন্দেহ করা প্রায় অসম্ভব) হাবলের ব্যাখ্যা : এ স্থানচ্যুতি সম্প্রসারণের অভিব্যক্তি। কিন্তু এ ব্যাখ্যা সম্প্রসারণের প্রারম্ভের পথিকৃৎ। সে প্রারম্ভ হয়েছে "মাত্র" 10^9 বৎসর পূর্বে। কিন্তু ভৌত জ্যোতির্বিজ্ঞান থেকে মনে হয় একক তারকা এবং তারকাতন্ত্রগুলির বিকাশে অনেক বেশী সময় লাগবার সম্ভাবনা। এ অসংগতি কি করে দূর হবে সে তথ্য সর্বপ্রকারে অজ্ঞাত।

আমি আরো মন্তব্য করতে চাই : সম্প্রসারণশীল স্থানতত্ত্ব এবং জ্যোতির্বিজ্ঞানের পরীক্ষাভিত্তিক উপাত্ত মিলিতভাবে, স্থানের চরিত্র সসীম না অসীম (ত্রিমাত্রিক) এ সম্পর্কে কোন সিদ্ধান্ত গ্রহণ অনুমোদন করে না। অথচ "স্থৈতিক" প্রকল্প সম্পর্কীয় প্রারম্ভিক তত্ত্ব বদ্ধস্থানের (সসীম) পথিকৃৎ।

পরিশিষ্ট V

অপেক্ষবাদ এবং স্থান সমস্যা [1]

স্থান কাল এবং পদার্থে, বাস্তব এবং অন্য নিরপেক্ষ অস্তিত্ব আরোপ করা নিউটনীয় পদার্থবিদ্যার বৈশিষ্ট্য। কারণ গতি সম্পর্কীয় নিউটনীয় বিধিতে ত্বরণ সম্পর্কীয় চিন্তন দেখা দেয়। কিন্তু এ তত্ত্বে ত্বরণ শুধুমাত্র "স্থান সাপেক্ষ ত্বরণই" বোঝাতে পারে। গতিসম্পর্কীয় বিধিতে ত্বরণকে কোন অর্থবহ রাশি ভাবতে হলে, নিউটনের স্থানকে "স্থিতিশীল" (at rest) কিম্বা অন্ততপক্ষে "ত্বরিত নয় রূপে" ভাবতে হবে। ত্বরণ সম্পর্কীয় ধারণায় প্রবিষ্ট কাল সম্পর্কেও একই বক্তব্যের অনেকটাই প্রযোজ্য। নিউটন নিজে এবং তাঁর সর্বাপেক্ষা সমালোচনাকারী (critical) সমকালীনরাই বোধ করেছিলেন স্বতঃত স্থান এবং তার গতির অবস্থার উপর ভৌত বাস্তবতা আরোপ করা, গোলমেলে ব্যাপার। বলবিদ্যায় কোন ভৌত অর্থ আরোপ করতে হলে তখন কিন্তু অন্য কোন বিকল্প ছিল না।

---

1. আমার পুরাতন বন্ধু, সসম্মানে বিদায়প্রাপ্ত অধ্যাপক (Professor Emeritus) এস. আর. মিলনার (S. R. Milner) এফ. আর. এস. 1920 সালে এ বইয়ের প্রথম অনুবাদের সময়কার মত এ ক্ষেত্রে তাঁর অতুলনীয় অভিজ্ঞতার সম্পদ এবারও আমাকে দান করেছেন। উন্নতি সম্পর্কে অসংখ্য প্রস্তাব উত্থাপন এবং এই নূতন পরিশিষ্টের অনুবাদ পাঠ তাঁরই দান। তাঁর কাছে এবং লিভারপুল বিশ্ববিদ্যালয়ের গণিত বিভাগের অধ্যাপক এ. জি. ওয়াকারের (A. G. Walker) কাছে আমি গভীরভাবে কৃতজ্ঞ। অধ্যাপক ওয়াকারও এ অনুবাদ পাঠ করেছেন এবং বহু সহায়ক প্রস্তাব উত্থাপন করেছেন।

আর. ডব্‌ল্যু. লসন।

সাধারণভাবে স্থান এবং বিশেষ করে শূন্যস্থানের উপর ভৌত বাস্তবতা আরোপ করতে হলে সত্যই সে প্রয়োজনের দাবি অত্যধিক। সুদূরতম অতীতকাল থেকে দার্শনিকেরা বারবার এ অনুমানে বাধা দিয়েছেন। দেকার্তে'র (Descartes) যুক্তি ছিল অনেকটা এই রকম ঃ স্থান এবং ব্যাপ্তি (extension) অভিন্ন। কিন্তু ব্যাপ্তি বস্তুপিণ্ডের সঙ্গে যুক্ত। সুতরাং বস্তুপিণ্ড ছাড়া কোনো স্থান নেই। অতএব কোনো শূন্যস্থানও নেই। এ যুক্তির দুর্বলতা প্রধানত এর ফলশ্রুতিতে। এ তথ্য নিশ্চয়ই সত্য যে ব্যাপ্তি সম্পর্কীয় ধারণার উৎপত্তি কঠিন (solid) বস্তুপিণ্ড স্থাপন করা কিংবা আমাদের সংস্পর্শে আনার অভিজ্ঞতা থেকে। এ থেকে কিন্তু এ রকম সিদ্ধান্ত করা যায় না যে, যে সমস্ত ক্ষেত্র স্বতঃত এ ধারণা গঠন সৃষ্টি করে নি সে সমস্ত ক্ষেত্রে ব্যাপ্তি সম্পর্কীয় ধারণা যুক্তিযুক্ত নয়। পরীক্ষালব্ধ ফল বোঝার জন্য এ ধারণার যে মূল্য রয়েছে সেই মূল্যে এই ধারণার এ রকম ব্যাপ্তি (extension) পরোক্ষভাবে সমর্থন করা যায়। সুতরাং ব্যাপ্তি শুধুমাত্র বস্তুপিণ্ডতেই আবদ্ধ এই দৃঢ় ঘোষণা অবশ্যই ভিত্তিহীন। আমরা পরে কিন্তু দেখব ব্যাপক অপেক্ষবাদ দেকার্তে'র চিন্তাধারাকে ঘোরা পথে সমর্থন করে। দেকার্তে যে জন্য তাঁর এই বিশেষ আকর্ষণীয় দৃষ্টিভঙ্গিতে পেঁছেছিলেন সেটা নিশ্চয়ই এই বোধ ঃ বাধ্যতামূলক প্রয়োজন ছাড়া স্থানের মত একটা জিনিসে বাস্তবতা আরোপ করা উচিত নয়। স্থানের "প্রত্যক্ষভাবে জ্ঞাত" হবার ক্ষমতা নেই।[1]

স্থান সম্পর্কীয় ধারণা কিংবা সে ধারণার প্রয়োজনীয়তার মনস্তাত্ত্বিক উৎপত্তি আমাদের প্রথাগত চিন্তার ভিত্তিতে যতটা সহজ প্রতীয়মান হয়, ঠিক ততটা সহজ নয়। প্রাচীন জ্যামিতিবেত্তাদের কাজ ছিল ধারণাপ্রসূত বস্তু নিয়ে [ঋজুরেখা, বিন্দু, পৃষ্ঠতল (surface)]। কিন্তু পরবর্তীকালে বৈশ্লেষিক জ্যামিতি যে রকম করেছিল সে রকম সত্যকারের স্থানকে নিয়ে নয়। স্থান সম্পর্কীয় ধারণার ইঙ্গিত কিন্তু এসেছে কয়েকটি আদিম অভিজ্ঞতা থেকে। অনুমান করা যাক একটি বাক্স বানানো হয়েছে। যাতে সেটা ভর্তি হয়ে যায় সেই রকম বিশেষভাবে বাক্সটির ভিতর জিনিষপত্র সাজানো সম্ভব। এই রকম সাজানোর সম্ভাবনা "বাক্স" নামক বাস্তব পদার্থের ধর্ম। এ ধর্ম বাক্সের দ্বারা "পরিবেষ্টিত স্থান" এবং এটা দেওয়া রয়েছে বাক্সের সঙ্গেই। এটা এমন একটা জিনিষ যা বিভিন্ন বাক্সে বিভিন্ন, খুব স্বাভাবিকভাবেই ভাবা যায় এ জিনিষের অস্তিত্ব বাক্সের ভিতরে কিছু থাকা না থাকা নিরপেক্ষ। যখন

---

1. একথা সম্পূর্ণ বিশ্বাসযোগ্য নয়।

বাক্সের ভিতরে কোন জিনিষ না থাকে তখন তার ভিতরের স্থানকে শূন্য মনে হয়।

এ পর্যন্ত স্থান সম্পর্কে আমাদের ধারণা বাক্সের সঙ্গে জড়িত। এটা কিন্তু দেখা যায় যে বাক্সের স্থানে গুদামজাত করার সম্ভাবনা বাক্সের দেয়ালের স্থূলত্ব নিরপেক্ষ। ফলশ্রুতি হিসাবে "স্থান"কে না হারিয়ে এই স্থূলত্ব কমিয়ে কি শূন্যে আনা যায় না ? এই সীমিতকরণ পদ্ধতির স্বাভাবিকত্ব স্বতঃপ্রতীয়মান। এখন আমাদের চিন্তনের জন্য অবশিষ্ট থাকে বাক্সবিহীন স্থান। ব্যাপারটা স্বতঃপ্রতীয়মান, কিন্তু ধারণাটির উৎপত্তি যদি আমরা ভুলে যাই তাহলে সেটা কত অস্বাভাবিক মনে হয়। বোঝা যায় দেকার্তে বাস্তবপদার্থনিরপেক্ষ স্থান নিয়ে বিচারের এত বিরোধী কেন ছিলেন[1] (একই সময়ে বৈশ্লেষিক জ্যামিতিতে স্থানকে একটি মূলগত ধারণারূপে বিচার করাতে এ মত কিন্তু তাঁকে বাধা দেয় নি)। পারদ বায়ুচাপমাপীর (mercury barometer) ভিতরের শূন্যতার দিকে দৃষ্টি আকর্ষণ করায় শেষ দেকার্তেপন্থী নিশ্চয়ই নিরস্ত্র হয়েছেন। কিন্তু একথা অস্বীকার করা যায় না যে এই আদিম স্তরেও স্থান সম্পর্কীয় ধারণা কিম্বা স্থান একটি অন্যনিরপেক্ষ বাস্তব এই চিন্তনের সঙ্গে অসন্তুষ্টিজনক কিছু একটা লেগে থাকে।

স্থানে (অর্থাৎ বাক্সে) কী করে বস্তুপিণ্ডগুলি বোঝাই করা যায় সেটা ইউক্লিডীয় ত্রিমাত্রিক জ্যামিতির বিষয়বস্তু। সে জ্যামিতির স্বতঃসিদ্ধভিত্তিক গঠন সহজেই আমাদের প্রতারিত করে; তার ফলে আমরা ভুলে যাই যে এ জ্যামিতি বাস্তবে রূপায়িত হবার যোগ্য পরিস্থিতি অভিমুখে আরোপিত।

এখন যদি উপরে লেখা সংক্ষিপ্ত খসড়া এবং বাক্স "ভর্তি" করার ব্যাপারে আমাদের অভিজ্ঞতা অনুসারে স্থান সম্পর্কে ধারণা গঠন করা যায় তা হলে সে স্থান মুখ্যত হবে একটি সীমায়ীত (bounded) স্থান। এই সীমারেখাকে কিন্তু অবশ্য-প্রয়োজনীয় বলে মনে হয় না কারণ আপাতদৃষ্টিতে একটি বৃহত্তর বাক্স ক্ষুদ্রতর একটি বাক্সকে সব সময়ই পরিবেষ্টন করতে পারে। এইভাবে স্থানকে মনে হয় সীমাহীন একটি জিনিষ।

---

1. স্থানের বাস্তবতা অস্বীকার করে এই দায় থেকে মুক্ত হবার জন্য কান্টের প্রচেষ্টাকে কিন্তু গুরুত্বের সঙ্গে গ্রহণ করা প্রায় অসম্ভব। বাক্সটা নিজে এবং তার ভিতরে যে জিনিষগুলি বোঝাই করা যায় সেগুলি যে অর্থে বাস্তব সেই একই অর্থে বাস্তব বাক্সের অন্তর্গত স্থানে বোঝাই করার সম্ভাবনা। এ সম্ভাবনা বাক্সের স্থানের সঙ্গে সহজাত (inhernt)।

স্থানের ইউক্লিডীয় চরিত্র এবং ত্রিমাত্রিক কল্পনকে কি করে তুলনামূলকভাবে অতীতের আদিম অভিজ্ঞতা থেকে অনুসরণ করা যায় সে তথ্য নিয়ে এখানে আমি আলোচনা করবো না। আমি বরং সবার আগে অন্যান্য দৃষ্টিভঙ্গি থেকে আলোচনা করবো ভৌত চিন্তনের বিকাশে স্থান সম্পর্কীয় ভূমিকা নিয়ে।

একটি ক্ষুদ্রতর বাক্স s যখন আপেক্ষিক স্থিতাবস্থায় একটি বৃহত্তর বাক্স S-এর ভিতরকার ফাঁপা স্থানে অবস্থিত তখন s-এর ফাঁপা স্থান S-এর ফাঁপা স্থানের অংশ এবং যে একই স্থান এই দুটিকে ধারণ করে বাক্সগুলির প্রত্যেকটিই সে স্থানের অধিকারী। s যখন S সাপেক্ষ গতিশীল তখনকার কল্পন (concept) অত সরল নয়। তখন মনে হতে পারে s সব সময় একই স্থানকে পরিবেষ্টন করে রয়েছে কিন্তু পরিবেষ্টন করেছে S স্থানের পরিবর্তী একটি অংশকে। তখন প্রয়োজন পড়ে প্রতিটি বাক্সকে তার বিশেষ স্থান ভাগ করে দেয়া। সে স্থানকে সীমানাযুক্ত ভাবা হয় না। তাছাড়া অনুমান করা প্রয়োজন হয় : এ দুটি স্থান পরস্পর সাপেক্ষ চলমান।

এই জটিলতা সম্পর্কে সচেতন হবার আগে মনে হয় স্থান একটি সীমাহীন মাধ্যম কিম্বা এমন একটি আধার, যার ভিতরে বাস্তব পদার্থগুলি সন্তরণশীল। কিন্তু এখন আমাদের অবশ্যই মনে করতে হবে : স্থানের সংখ্যা অসীম এবং তারা পরস্পর সাপেক্ষ চলমান। স্থান বস্তুনিষ্ঠভাবে বর্তমান একটা কিছু এবং তার অস্তিত্ব অন্য জিনিষ নিরপেক্ষ এ ধারণা প্রাক-বৈজ্ঞানিক চিন্তাধারার অংশ। পরস্পর সাপেক্ষ চলমান, সংখ্যায় অসীম, স্থানের অস্তিত্ব সম্পর্কে ধারণা কিন্তু সে চিন্তাধারার অংশ নয়। যুক্তির দিক দিয়ে এই শেষোক্ত ধারণা পরিহার করা অসম্ভব। কিন্তু বৈজ্ঞানিক চিন্তনেও এ চিন্তাধারা বিরাট কিছু ভূমিকা পালন করে নি।

কাল সম্পর্কীয় ধারণার মনস্তাত্ত্বিক উৎপত্তি সম্পর্কে কি বক্তব্য? এ ধারণা নিঃসন্দেহে স্মৃতিচারণ (calling to mind) ও বোধেন্দ্রিয়ের অভিজ্ঞতা এবং সেগুলির স্মৃতিচারণের পৃথকীকরণের সঙ্গে জড়িত। সন্দেহ হয় স্বকীয়ভাবে বোধেন্দ্রিয়ের অভিজ্ঞতা এবং স্মৃতিচারণের ভিতরের পার্থক্য (কিম্বা শুধুমাত্র পুনরুত্থাপন) মনস্তাত্ত্বিক দিক দিয়ে প্রত্যক্ষভাবে আমাদের কাছে প্রদত্ত কি না। কিছু সম্পর্কে বোধেন্দ্রিয়ের সাহায্যে কোন অভিজ্ঞতা সত্যই হয়েছে না শুধুমাত্র এ বিষয়ে স্বপ্ন দেখেছেন এ রকম সন্দেহের অভিজ্ঞতা সবারই আছে! বোধ হয় মনের বিন্যাস ক্রিয়ার ফলশ্রুতি হিসাবে এ দুটি বিকল্পের ভিতরে পার্থক্য লক্ষ্য করার ক্ষমতার উদ্ভব হয়।

একটি অভিজ্ঞতার সঙ্গে একটি "অনুস্মরণ (recollection)" জড়িত এবং

"বর্তমান অভিজ্ঞতাগুলির" তুলনায় তাকে "পূর্বতর" (earlier) রূপে বিচার করা হয়। অনুস্মরণ করা অভিজ্ঞতাগুলির জন্য এ একটি কল্পনপ্রসূত বিন্যাস প্রণালী (conceptual ordering principle) এবং এটা সম্পাদন করার সম্ভাবনা থেকে উদ্ভূত হয় সময় সম্পর্কে ব্যক্তিনিষ্ঠ ধারণা অর্থাৎ সময় সম্পর্কীয় সেই কল্পন যা ব্যক্তির অভিজ্ঞতাগুলির বিন্যাসে আরোপিত হয়।

সময় সম্পর্কীয় কল্পনকে বস্তুনিষ্ঠ করার অর্থ আমাদের কাছে কি ? একটি উদাহরণ বিচার করা যাক। A নামক একটি ব্যক্তির (আমি) অভিজ্ঞতা হোল "বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে।" একই সময়ে A নামক ব্যক্তি B নামক ব্যক্তির এমন একটি আচরণ সম্পর্কে অভিজ্ঞতা লাভ করলো যে তার নিজের অভিজ্ঞতা "বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে" এর সঙ্গে B-এর আচরণের একটি সম্পর্ক স্থাপিত হোল। এইভাবে A নিজের অভিজ্ঞতা "বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে"-এর সঙ্গে Bকে সম্বন্ধযুক্ত করে। A ব্যক্তিটির কাছে এই ধারণা উপস্থিত হয় যে ''বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে'' তার এই অভিজ্ঞতার অংশ অন্য লোকও গ্রহণ করছে। "বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে'' এখন আর অপরবর্জিত (exclusive) ব্যক্তিগত অভিজ্ঞতারূপে ব্যাখ্যাত নয়ঃ ব্যাখ্যাত অন্য লোকের অভিজ্ঞাতারূপেও (কিংবা শেষ পর্যন্ত শুধুমাত্র "সম্ভাব্য অভিজ্ঞতা'')। এমনি করেই ''বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে'' এই ব্যাখ্যার উদ্ভব হয়। ব্যাপারটা প্রথম চেতনায় প্রবেশ করেছে একটি "অভিজ্ঞতা'' রূপে, সেটি এখন ব্যাখাত হচ্ছে একটি (বস্তুনিষ্ঠ) "ঘটনা" রূপে। আমরা যখন "বাস্তব বহির্জগতের'' কথা বলি তখন আসলে বোঝাতে চাই এই সমস্ত ঘটনার মোট যোগফল।

আমরা দেখেছি আমাদের অভিজ্ঞতাগুলিতে কালিক (temporal) বিন্যাস আরোপ করতে "আমরা নিজেরা সজোরে চালিত" এইরূপ বোধ করি। ঘটনা অনেকটা এই রকমঃ β যদি α-এর পরবর্তী এবং γ যদি β-এর পরিবর্তী হয় তা হলে γ হবে α-এর পরবর্তী ("অভিজ্ঞতার পর্যায়ক্রম sequence of experience)। এখন, যে "ঘটনাগুলি" আমরা আমাদের অভিজ্ঞতার সঙ্গে যুক্ত করেছি, এ সাপেক্ষ তাদের অবস্থান কি ? প্রথম দৃষ্টিতে মনে হয় ঘটনাবলীর কালিক বিন্যাসের অনুমিত অস্তিত্ব স্বতঃপ্রতীয়মান এবং এ বিন্যাসের সঙ্গে অভিজ্ঞতার কালিক বিন্যাসের ঐক্য রয়েছে। অবিশ্বাসের সন্দেহ (sceptical doubt) অভ্যুত না হওয়া পর্যন্ত সাধারণত অজ্ঞাতসারে এরকমই করা হয়েছে।[1] ববস্তুনিষ্ঠ পৃথিবী সম্পর্কে

উদাহরণঃ শাব্দিক উপায়ে প্রাপ্ত অভিজ্ঞতার কালিক বিন্যাসের সঙ্গে দৃষ্টির

ধারণায় পেঁছুতে হলে আরও একটি গঠনমূলক কল্পন (concept) প্রয়োজন : ঘটনাটির শুধু কালিক অবস্থান রয়েছে তাই নয়, রয়েছে তার স্থানিক অবস্থানও।

এর আগের অনুচ্ছেদগুলিতে আমরা বলতে চেষ্টা করেছি কি করে স্থান, কাল এবং ঘটনা সম্পর্কীয় কল্পনগুলিকে মনস্তত্ত্বের দিক থেকে অভিজ্ঞতার সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত করা যায়। যুক্তির বিচারে এগুলি মানববুদ্ধির স্বাধীন সৃষ্টি। এরা চিন্তার সাধনী (tools)। এদের উদ্দেশ্য, অভিজ্ঞতাগুলিকে পরস্পর সংযুক্ত করা। যার ফলে সেগুলিকে আরো ভালভাবে নিরীক্ষণ করা যায়। এই মূলগত ধারণাগুলির পরীক্ষাভিত্তিক (empirical) উৎস সম্পর্কে সচেতন হবার চেষ্টা করলে দেখা যাবে আসলে এই ধারণাগুলির সঙ্গে আমরা কি পরিমাণ জড়িত। এইভাবে আমরা সচেতন হই নিজেদের স্বাধীনতা সম্পর্কে। প্রয়োজনে এ স্বাধীনতার বিচক্ষণ ব্যবহার সব সময়ই কঠিন।

স্থান-কাল-ঘটনা [মনস্তত্ত্বের জগৎ থেকে আগত কল্পনগুলির বৈসাদৃশ্যে (in contrast) সংক্ষেপে আমরা এগুলির নাম দেব স্থানানুরূপ (spacelike)] কল্পনগুলির মনস্তাত্ত্বিক উৎপত্তি সম্পর্কে এই লেখায় যোগ করার মত অপরিহার্য আরো কিছু আমাদের রয়েছে। স্থান বিষয়ক কল্পনকে আমরা একাধিক বাক্স ব্যবহার এবং সেগুলির ভিতরে বাস্তব পদার্থ বিন্যাসের সঙ্গে যুক্ত করেছি। সুতরাং ধারণাগুলির এই গঠনক্রিয়া বাস্তব পদার্থ (বাক্স) সম্পর্কীয় ধারণার অস্তিত্ব পূর্বাহ্নেই মেনে নেওয়া হয়েছে বলে মাননা করে। একইরূপে, সময়ের বস্তুনিষ্ঠ কল্পন গঠনের জন্য যে ব্যক্তিদের উপস্থাপন করতে হয়েছিল, এ প্রসঙ্গে তারাও বাস্তব পদার্থের ভূমিকা পালন করে। সেইজন্য আমার মনে হয় বাস্তব পদার্থ সম্পর্কীয় ধারণার গঠনক্রিয়ার আমাদের স্থান-কাল সম্পর্কীয় ধারণার পূর্বগামী হওয়া আবশ্যিক।

মনস্তত্ত্বক্ষেত্রের বেদনা, লক্ষ্য, উদ্দেশ্য ইত্যাদি কল্পন এবং এই সমস্ত স্থানানুরূপ কল্পনগুলি আগে থাকতেই প্রাক-বৈজ্ঞানিক চিন্তাধারার অংশ। এখন, সাধারণভাবে প্রকৃতিবিজ্ঞানের চিন্তনের মত পদার্থবিদ্যার চিন্তনের বৈশিষ্ট্য এই যে নীতিগতভাবে এর প্রচেষ্টা "স্থানানুরূপ" ধারণাগুলি নিয়ে এককভাবে কর্ম করা এবং চেষ্টা করা

সাহায্যে প্রাপ্ত কালিক বিন্যাসের পার্থক্য হতে পারে। সুতরাং ঘটনার কাল পরম্পরা এবং অভিজ্ঞতার কাল পরম্পরা অভিন্ন : এ কথা সহজে মেনে নেওয়া কারো পক্ষে সম্ভব নয়।

এদের সাহায্যে সেই সমস্ত সম্পর্ক প্রকাশ করা যেগুলির গঠন বিধির (Law) মত। পদার্থবিদের চেষ্টা রঙ এবং আভাকে (tons) কম্পনে পরিণত করা এবং শারীর-বিদের চেষ্টা চিন্তা এবং ব্যথাকে স্নায়বিক ক্রিয়ায় পরিণত করা। সে পরিণতির পদ্ধতি এমন যে সেগুলির অস্তিত্বের কার্যকারণবন্ধন থেকে মনোজ উপাদানকে বাদ দেয়া যায় এবং কার্যকারণ সম্পর্কমণ্ডলের ভিতরে স্বতন্ত্র সংযোগরূপে সে উপাদানের অস্তিত্ব থাকে না। সন্দেহ নেই, যে দৃষ্টিভঙ্গির বিচারে, সমস্ত সম্পর্ক নীতিগতভাবে শুধুমাত্র "স্থানানুরূপ" কল্পনের সাহায্যে বোঝা সম্ভব আধুনিক যুগে "বস্তুবাদ" বলতে সেই দৃষ্টিভঙ্গিকেই বোঝায়। (কারণ "বস্তু" তার মূলগত কল্পনের ভূমিকা হারিয়েছে)।

প্রকৃতিবিজ্ঞানে চিন্তনের মৌল ধারণাগুলিকে প্লেটোর অলিম্পীয় ক্ষেত্র থেকে টেনে নামানোর প্রয়োজন কি? কি প্রয়োজন তাদের পার্থিব কুলপঞ্জী প্রকাশের চেষ্টার? উত্তর: "এগুলি নিষিদ্ধ (taboo) এই সংস্কার জড়িত এই চিন্তনের সঙ্গে। সে সংস্কার থেকে এই চিন্তনকে মুক্ত করা এবং তার ফলে চিন্তন এবং কল্পন গঠনে আরো স্বাধীনতা লাভ করা। এই সমালোচনামূলক ধারণা উপস্থিত করেছিলেন ডি. হিউম (D. Hume) এবং ই. ম্যাক (E. Mach)। এ উপস্থাপন তাঁদের অমর কীর্তি।

স্থান কাল এবং বাস্তব পদার্থ [গুরুত্বপূর্ণ বিশেষ ক্ষেত্র কঠিন বস্তুপিণ্ড (solid body) সহ] সম্পর্কীয় কল্পন প্রাক বৈজ্ঞানিক চিন্তাধারা থেকে বিজ্ঞান অধিগ্রহণ করেছে, সেগুলির পরিবর্তন করেছে এবং সেগুলিকে স্পষ্টতররূপে নির্দিষ্ট করেছে (rendered them more precise)। এর প্রথম গুরুত্বপূর্ণ সাফল্য ইউক্লিডীয় জ্যামিতির বিকাশ। জ্যামিতির স্বতঃসিদ্ধবন্ধ সূত্রগুলি, তাদের পরীক্ষাভিত্তিক জন্ম ইতিহাসের দিক থেকে আমাদের দৃষ্টিপথকে যেন কখনোই রুদ্ধ না করে (ঘনবস্তুপিণ্ডগুলির বিন্যাস এবং সেগুলিকে পাশাপাশি স্থাপনের সম্ভাবনা)। বিশেষ করে স্থানের ত্রিমাত্রিক স্বভাব এবং তাদের ইউক্লিডীয় চরিত্রের উৎপত্তি পরীক্ষাভিত্তিক [একরূপে গঠিত "ঘনকের" (cube) দ্বারা এ স্থান সম্পূর্ণ ভরাট করা সম্ভব।]

পূর্ণরূপে অনমনীয় বস্তুপিণ্ডের কোনো অস্তিত্ব নেই এ তথ্য আবিষ্কারের ফলে স্থান সম্পর্কীয় কল্পনের সূক্ষ্মতা আরো বৃদ্ধি পায়। সমস্ত বস্তুপিণ্ডেরই প্রত্যস্থ বিরূপণ সম্ভব (elastic deformation) এবং তাপমাত্রা পরিবর্তনের সঙ্গে তাদের আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। সেইজন্য ভৌত কল্পন ব্যতিরেকে গঠনের

প্রতিরূপ উপস্থাপন সম্ভব নয়। গঠনের সম্ভাব্য সর্বসমতার (Possible congruenees) বিবরণও দিতে হবে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির সাহায্যে। কিন্তু যেহেতু নিজস্ব ধারণা প্রতিষ্ঠিত করার জন্য পদার্থবিদ্যাকে শেষ পর্যন্ত জ্যামিতির ব্যবহার অবশ্যই করতে হবে। সেই জন্য জ্যামিতির পরীক্ষাভিত্তিক আধেয় (emperical content) বিবৃত করা এবং পরীক্ষা করা শুধুমাত্র পদার্থবিদ্যার পূর্ণ কাঠামোর ভিতরেই সম্ভব।

এই প্রসঙ্গে পরমাণুবাদ (atomistics) এবং তার সান্ত বিভাজ্যতা সম্পর্কীয় (finite divisibility) কল্পনও মনে রাখতে হবে কারণ উনপারমাণবিক বিস্তারস্থান (space of subatomic extension) মাপন সম্ভব নয়। পরমাণুবাদ (atomistics) নীতিগতভাবে আমাদের কঠিন বস্তুপিণ্ডগুলির স্পষ্ট এবং স্থিতীয়ভাবে সংজ্ঞাত সীমানির্দেশকারী পৃষ্ঠতল সম্পর্কীয় কল্পনও পরিত্যাগ করতে বাধ্য করে। যথাযথ বিচারে, পরস্পর স্পর্শকারী বস্তুপিণ্ডগুলির সম্ভাব্য বাহ্যিক গঠনের (configurations) কোন নির্ভুল বিধি নেই—এমন কি স্থূল অঞ্চলেও (macro-regions) নেই।

এ সত্ত্বেও স্থান সম্পর্কীয় কল্পন পরিত্যাগ করার কথা কেউ ভাবেন নি। তার কারণ : মনে হয়েছিল অতীব সন্তোষজনক পূর্ণপ্রকৃতিবিজ্ঞান তন্ত্রের জন্য এ কল্পন অপরিহার্য। ঊনবিংশ শতাব্দীতে শুধুমাত্র ম্যাকই (Mach) স্থান সম্পর্কীয় কল্পন পরিত্যাগের কথা গুরুত্বের সঙ্গে ভেবেছিলেন। তিনি চেয়েছিলেন এ ধারণার স্থলে সমস্ত পদার্থবিন্দুর অন্তর্বর্তী তাৎক্ষণিক দূরত্বের ধারণাকে প্রতিস্থাপন করতে (তাঁর এ প্রচেষ্টার উদ্দেশ্য ছিল জড়ত্ব সম্পর্কে একটি সন্তোষজনক বোধে পেঁছানো।)

ক্ষেত্র

নিউটনীয় বলবিদ্যায়, স্থান এবং কালের একটি দ্বৈত ভূমিকা রয়েছে। অর্থাৎ যেগুলি সাপেক্ষ স্থান নির্দেশক এবং কালের সাহায্যে পদার্থবিদ্যায় ঘটমান কার্যগুলির বিবরণ দেওয়া হয় : স্থান এবং কাল সেগুলির বাহক অথবা কাঠামোর ভূমিকা পালন করে। নীতিগতভাবে চিন্তা করা হয়, "পদার্থবিন্দুর" সমষ্টির দ্বারা পদার্থ গঠিত। এই বিন্দুগুলির গতিই ভৌত ঘটনার উপাদান। যেখানে বিবিক্ত (discrete) গঠন বর্ণনার ইচ্ছা কিম্বা ক্ষমতার অভাব সেখানে পদার্থকে অবিচ্ছিন্নরূপে চিন্তা করা হয়। মনে হয়, এ চিন্তাও যেন করা হয় সাময়িকভাবে। এক্ষেত্রে পদার্থের

ক্ষুদ্র অংশগুলিকে (elements of volume) পদার্থবিন্দুরূপে বিচার করা হয় : অন্ততপক্ষে ততক্ষণ পর্যন্ত যতক্ষণ শুধুমাত্র গতি নিয়েই আমাদের বিবেচনা, ঘটনা নিয়ে নয়। এই মুহূর্তে ঘটনাগুলির কারণ গতিতে আরোপ করা সম্ভব নয় কিংবা আরোপ করে কোন প্রয়োজনীয় উদ্দেশ্য সাধিত হবে না। (যথা—তাপমাত্রার পরিবর্তন, রাসায়নিক ক্রিয়া ইত্যাদি)। স্থান এবং কালের দ্বিতীয় ভূমিকা ছিল একটি "জড়ত্বীয় তন্ত্র" হওয়া। নির্দেশের যত রকম তন্ত্র কল্পনা করা সম্ভব সেগুলির ভিতরে জড়ত্বীয় তন্ত্রগুলিকেই সুবিধাজনক ভাবা হয়েছিল কারণ সেগুলি সাপেক্ষ ছিল জড়ত্বীয় বিধির সত্যতার দাবী।

এ ব্যাপারে আসল ঘটনা হোল ভৌত বাস্তবতাকে অনুভবকারী ব্যক্তিনিরপেক্ষ ভাবা। অন্তত নীতিগতভাবে ভাবা হয়েছিল ভৌত বাস্তবতার উপাদান একদিকে স্থান এবং কাল আর অন্যদিকে স্থান এবং কালসাপেক্ষ চলমান স্থায়ীভাবে বর্তমান পদার্থ বিন্দুসমূহ। স্থান এবং কালের অন্যনিরপেক্ষ অস্তিত্ব সম্পর্কীয় ধারণার রূঢ় (drastically) প্রকাশ হতে পারে এইভাবে : পদার্থ যদি অদৃশ্য হয় তাহলে শুধুমাত্র স্থান ও কাল থাকবে (ভৌত ঘটনার একটি রঙ্গমঞ্চের মত)।

এই দৃষ্টিভঙ্গি অতিক্রম এমন একটি বিকাশের ফলশ্রুতি প্রথমত যার স্থান-কাল সমস্যার সঙ্গে আপাতদৃষ্ট কোন সম্পর্কই ছিল না। সে বিকাশ ক্ষেত্রসম্পর্কীয় কল্পনের আবির্ভাব এবং নীতিগতভাবে তার কণাসম্পর্কীয় (পদার্থবিন্দু) কল্পনের স্থলে প্রতিস্থাপিত হওয়ার অন্তিম দাবী। চিরায়ত পদার্থবিদ্যার কাঠামোতে যে স্থলে পদার্থকে সাংতত্যকরূপে বিচার করা হয়েছে সেখানে ক্ষেত্র সম্পর্কীয় কল্পন উপস্থিত হয়েছে সহায়ক কল্পনরূপে। উদাহরণ : কঠিন একটি বস্তুপিণ্ডে তাপ পরিবহন বিচারে প্রতিটি সুনির্দিষ্ট কালে বস্তুপিণ্ডের প্রতিটি বিন্দুর তাপমাত্রা প্রকাশের সাহায্যে বস্তুপিণ্ডটির অবস্থার বিবরণ দেওয়া হয়। গাণিতিকরূপে এর অর্থ তাপমাত্রা T-এর প্রতিরূপ, উপস্থাপিত হয় একাধিক স্থান নির্দেশক এবং কাল নির্দেশক t (তাপমাত্রা ক্ষেত্র)-এর গাণিতিক অভিব্যক্তি (অপেক্ষক) রূপে। তাপ পরিবহণ বিধির প্রতিরূপ একটি স্থানিক সম্পর্ক (local relation) (অবকল সমীকরণ—differential equation)। তাপ পরিবহণের সমস্ত বিশেষক্ষেত্র এ সম্পর্কের অন্তর্ভুক্ত। তাপমাত্রা এখানে ক্ষেত্র কল্পনের একটি সরল উদাহরণ। এটা এমন একটি রাশি (কিম্বা একাধিক রাশির মিশ্রণ) যে রাশি নির্দেশকগুচ্ছ এবং সময়ের অপেক্ষক। আর একটি উদাহরণ : একটি তরল পদার্থের গতির বিবরণ। প্রতিটি বিন্দুতেই যে কোন কালে একটি গতিবেগ বর্তমান। পরিমাণগতভাবে

সে গতিবেগের বিবরণ দেওয়া হয় একটি স্থানাঙ্কতন্ত্রের (সদিশ—vector) অক্ষগুলি সাপেক্ষ তিনটি "উপাদানের (component)" সাহায্যে। এখানেও একটি বিন্দুতে গতিবেগের উপাদান (ক্ষেত্রীয় উপাদান—field component) তিনটি নির্দেশক (x, y, z) এবং কালের (t) অপেক্ষক।

উল্লিখিত ক্ষেত্রগুলির বৈশিষ্ট্য এই যে সেগুলি শুধুমাত্র ওজনযোগ্য ভরে দৃষ্ট হয়। তাদের কাজ শুধু এই পদার্থের একটি অবস্থার বিবরণ দেয়া। ক্ষেত্র-কল্পনের ঐতিহাসিক বিকাশ অনুসারে যেখানে কোন পদার্থ পাওয়া যেত না সেখানে কোন ক্ষেত্রও থাকতে পারত না। কিন্তু ঊনবিংশ শতাব্দীর প্রথম চতুর্থাংশে দেখানো হয়েছিল: আলোককে যদি প্রত্যস্থ (elastic) কঠিন বস্তুপিণ্ডের যান্ত্রিক (mechanical) কম্পনক্ষেত্রের সঙ্গে পূর্ণ সাদৃশ্য সম্পন্ন ক্ষেত্ররূপে বিবেচনা করা হয় তাহলে আলোকের গতি এবং ব্যতিচার (interference) পরিঘটনাগুলিকে আশ্চর্যজনক স্পষ্টভাবে ব্যাখ্যা করা সম্ভব। সুতরাং একটি ক্ষেত্র উপস্থাপনের প্রয়োজন অনুভূত হয়েছিল। এমন ক্ষেত্র যে, ওজনযোগ্য ভরের অভাবেও "শূন্যস্থানে" তাদের অস্তিত্ব সম্ভব।

এই অবস্থায় একটি কূটপরিস্থিতি (paradoxical situation) সৃষ্টি হয়। কারণ: উৎপত্তি অনুসারে মনে হয়েছিল ক্ষেত্রকল্পন ওজনযোগ্য বস্তুপিণ্ডের অভ্যন্তরের অবস্থা বিবরণেই সীমাবদ্ধ। ব্যাপারটা আরো বেশী নিশ্চিত মনে হয়েছিল কারণ তখন বিশ্বাস ছিল যে, প্রতিটি ক্ষেত্রকেই একটি অধিযান্ত্রিক (mechanical) ব্যাখ্যাযোগ্য অবস্থারূপে বিচার করা উচিত। ফলে, পূর্বোহেই পদার্থের অস্তিত্ব স্বীকৃত। সুতরাং এতদিন পর্যন্ত যে স্থানকে শূন্যরূপে বিবেচনা করা হয়েছিল সেখানে এবং সর্বত্র কোন এক প্রকার পদার্থের অস্তিত্ব অনুমান করা, মনে হয়েছিল, বাধ্যতামূলক। এই পদার্থের নাম দেয়া হয়েছিল "ইথার"।

ক্ষেত্র কল্পনের যান্ত্রিক বাহকের সঙ্গে সম্পর্কের অনুমান থেকে মুক্তি, মনস্তাত্ত্বিক দৃষ্টিভঙ্গি থেকে ভৌত চিন্তনের বিকাশে সব চাইতে আকর্ষণীয় ঘটনাগুলির ভিতরে স্থান পায়। ঊনবিংশ শতাব্দীর দ্বিতীয়ার্ধে ফ্যারাডে (Faraday) এবং ম্যাক্সওয়েলের (Maxwell) গবেষণা প্রসঙ্গে এ তথ্য স্পষ্ট থেকে স্পষ্টতর হোল যে পদার্থবিন্দুর অধিযন্ত্রবাদী কল্পনের ভিত্তিতে বিচারের তুলনায়, বিদ্যুৎচুম্বকীয় ক্রিয়ার বিবরণ, ক্ষেত্রের বাগ্বিধিতে দেয়া অনেক ভাল। বিদ্যুৎগতিকী বিদ্যায় ক্ষেত্র কল্পন উপস্থাপন করে ম্যাক্সওয়েল বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গ সম্পর্কে সফল ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন। আলোকতরঙ্গের সঙ্গে এই তরঙ্গগুলির মূলগত ঐক্য সম্পর্কে

সন্দেহের কোন অবকাশ ছিল না। তার কারণ এগুলির বিস্তারের গতিবেগের সমতা। এর ফলে নীতিগতভাবে বৈদ্যুৎগতিকীবিদ্যা আলোকতত্ত্বকে আত্মভূত (absorbed) করে। এই বিরাট সাফল্যের একটি মনস্তাত্ত্বিক ক্রিয়া ছিল : চিরায়ত পদার্থবিদ্যার অধিযন্ত্রবাদী কাঠামোর বিরুদ্ধে, ক্ষেত্র কল্পনের ক্রমশ অধিকতর স্বাধীনতালাভ।

তবুও প্রথমে এটা মেনে নেওয়া হয়েছিল যে বিদ্যুৎচুম্বকীয় ক্ষেত্রগুলিকে ইথারের বিভিন্ন অবস্থারূপে ব্যাখ্যা করতে হবে। এই অবস্থাগুলিকে অধিযন্ত্রবাদী অবস্থারূপে ব্যাখ্যা করার ঐকান্তিক চেষ্টা হয়েছে কিন্তু এসব প্রচেষ্টা সব সময়ই ব্যর্থ হয়েছে। ফলে বিজ্ঞান ক্রমশ অভ্যস্ত হয়েছে, এই অধিযন্ত্রবাদী ব্যাখ্যাগুলি পরিত্যাগ করতে। তবুও এ বিশ্বাসের অস্তিত্ব ছিল যে বিদ্যুৎচুম্বকীয় ক্ষেত্রগুলি আসলে ইথারের বিভিন্ন অবস্থা। শতাব্দী পরিবর্তনের মুখে অবস্থাটা ছিল এই রকম।

ইথারতত্ত্ব সঙ্গে এনেছিল এই প্রশ্ন : অধিযন্ত্রবাদী দৃষ্টিভঙ্গি থেকে, ওজনযোগ্য বস্তুপিণ্ড সাপেক্ষ ইথারের আচরণ কি রকম ? ইথার কি বস্তুপিণ্ডগুলির গতিতে অংশগ্রহণ করে ? নাকি এর অংশগুলি পরস্পর সাপেক্ষ স্থিতিশীল থাকে ? এ প্রশ্ন সম্পর্কে সিদ্ধান্তগ্রহণ করার জন্য উদ্ভাবনমূলক বহু বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা করা হয়েছিল। এ প্রসঙ্গে নিম্নলিখিত গুরুত্বপূর্ণ তথ্যগুলি উল্লেখ করা উচিত : পৃথিবীর বার্ষিক গতির ফলে স্থির তারকাগুলির "অপেরণ (aberration)" এবং ডপলার অভিক্রিয়া "(Doppler effeet)" অর্থাৎ বিকিরণের জানিত কম্পাঙ্ক সাপেক্ষ স্থির তারকাগুলি থেকে আমাদের কাছে আগমনশীল আলোকের কম্পাংকের উপর সেই স্থির তারকাগুলির আপেক্ষিক গতির প্রভাব। ওজনযোগ্য বস্তুপিণ্ডগুলির গতিতে ইথার কোন অংশগ্রহণ করে না এবং ইথারের অংশগুলির পরস্পর সাপেক্ষ কিছুমাত্র আপেক্ষিক গতি নেই ; এই দুটি অনুমানের ভিত্তিতে এইচ. এ. লোরেঞ্জ এই সমস্ত তথ্য এবং পরীক্ষাফল ব্যাখ্যা করেন। মিচেলসন-মর্লি পরীক্ষা এ ব্যাখ্যার অন্তর্ভুক্ত ছিল না। সুতরাং ইথার যেন প্রতিভাত হোল মূর্তিমান পরমস্থির (absolutely at rest) স্থানের মত। কিন্তু লোরেঞ্জ-এর অনুসন্ধান সম্পাদন করেছিল, আরও কিছু। ওজনযোগ্য পদার্থের বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের উপর প্রভাব এবং তার বৈপরীত্যের (conversely) জন্য শুধুমাত্র এই তথ্য দায়ী : পদার্থের উপাদানকণাগুলি বৈদ্যুতিক আবেশ (electrical charges) বহন করে। সে আবেশ কণাগুলির গতির অংশীদার। পূর্বোক্ত অনুমানগুলির উপর নির্ভর কোরে লোরেঞ্জের গবেষণা ওজনযোগ্য সমস্ত বস্তুপিণ্ডের অভ্যন্তরের তখন পর্যন্ত

জানা, বিদ্যুৎচুম্বকীয় এবং আলোক সম্পর্কীয় ক্রিয়া ব্যাখ্যা করে। মিচেলসন এবং মর্লি'র পরীক্ষা বিষয়ে এইচ. এ. লোরেঞ্জ দেখিয়েছিলেন : প্রাপ্ত ফল অন্ততপক্ষে স্থিতিশীল ইথারতত্ত্বের বিরুদ্ধগামী নয়।

এই সুন্দর সাফল্যগুলি সত্ত্বেও নিম্নলিখিত কারণে তত্ত্বের অবস্থা তখনো সন্তোষজনক ছিল না। এ বিষয়ে সন্দেহ নেই যে চিরায়ত বলবিদ্যার সত্যতার আসন্নতা অত্যাধিক (holds with a close degree of approximation)। এ বলবিদ্যা শিক্ষা দেয় : প্রাকৃতিক বিধিগুলি গঠনের জন্য সমস্ত জড়ত্বীয়তন্ত্র এবং জড়ত্বীয় "স্থান"ই তুল্য। অর্থাৎ একটি জড়ত্বীয় তন্ত্র থেকে অন্য জড়ত্বীয়-তন্ত্রে রূপান্তর বিষয়ে সমস্ত প্রাকৃতিক বিধিই নিশ্চর (*invariance*)। বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব এবং আলোকতত্ত্ব বিষয়ক পরীক্ষাগুলি বহুল পরিমাণ নির্ভুলতার সঙ্গে সেই শিক্ষাই দিয়েছে। কিন্তু বিদ্যুৎচুম্বকীয় তত্ত্বের ভিত্তি শিক্ষা দিয়েছে : একটি বিশেষ জড়ত্বীয়তন্ত্রকে অগ্রাধিকার দিতেই হবে। অর্থাৎ অগ্রাধিকার দিতে হবে স্থিতিশীল এবং আলোকপ্রেরক (luminiferous) ইথারকে। তাত্ত্বিক ভিত্তির এই দৃষ্টিভঙ্গি ছিল অতীব অসন্তোষজনক। এমন কোন পরিবর্তন কি ছিল না—যে পরিবর্তন চিরায়ত বলবিদ্যার মত জড়ত্বীয়তন্ত্রগুলির তুল্যতা ঘোষণা করবে (বিশিষ্ট আপেক্ষিক নীতি) ?

এ প্রশ্নের উত্তর বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ। শূন্যস্থানে আলোকের গতিবেগের স্থিরত্ব সম্পর্কীয় অনুমান এ তত্ত্ব গ্রহণ করেছে ম্যাক্সওয়েল লোরেঞ্জতত্ত্ব থেকে। এর সঙ্গে জড়ত্বীয় তন্ত্রগুলির তুল্যতার সামঞ্জস্য আনবার জন্য (বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ নীতি) যুগপত্তার পরম চরিত্র সম্পর্কীয় ধারণা অবশ্যই পরিত্যাগ করতে হবে। তাছাড়া একটি জড়ত্বীয়তন্ত্র থেকে অন্য জড়ত্বীয় তন্ত্রে রূপান্তরের ব্যাপারে এ তত্ত্ব কাল এবং স্থান নির্দেশকগুচ্ছ বিষয়ক লোরেঞ্জ রূপান্তরের পদনির্দেশক। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের পূর্ণ আধেয় রয়েছে এই স্বীকৃতিতে : লোরেঞ্জ রূপান্তর সাপেক্ষ প্রাকৃতিক বিধি নিশ্চর। এই চাহিদার সবচাইতে গুরুত্বপূর্ণ বিষয় রয়েছে এই তথ্যে : এ চাহিদা (requirement) সম্ভাব্য প্রাকৃতিক বিধিগুলিকে সুনিশ্চিত-রূপে সীমিত করে।

স্থান সমস্যা সাপেক্ষ বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের অবস্থান কি ? প্রথমত আমাদের প্রহরা দিতে হবে এই মতের বিরুদ্ধে : এই মতের চারমাত্রিক বাস্তবতা উপস্থাপন প্রথম এবং নূতন। এমন কি চিরায়ত পদার্থবিদ্যায়ও একটি ঘটনা চারটি সংখ্যা দিয়ে স্থানীকৃত হয় (localised) তিনটি স্থানিক (spatial) নির্দেশক এবং একটি

কালিক নির্দেশক। সুতরাং, ভৌত "ঘটনাগুলির" সমগ্রতাকে চারমাত্রিক অবিচ্ছিন্ন কাঠামোর (manifold) স্থাপিত (embedde) ভাবা হয়। কিন্তু চিরায়ত বলবিদ্যার ভিত্তিতে এই চারমাত্রিক সাংতত্যক বস্তুনিষ্ঠভাবে বিভক্ত হয় একমাত্রিক কালিক এবং ত্রিমাত্রিক স্থানিক অংশে। শুধু শেষেরটিই যুগপৎ ঘটনাগুলির আধার। এই বিভাজন সমস্ত জড়ত্বীয়তন্ত্রের ক্ষেত্রেই অভিন্ন। একটি জড়ত্বীয়-তন্ত্র সাপেক্ষ দুটি সুনিশ্চিত ঘটনার যুগপত্তা, সমস্ত জড়ত্বীয়তন্ত্র সাপেক্ষ এই দুটি ঘটনার যুগপত্তার সংগে বিজড়িত। যখন আমরা বলি চিরায়ত বলবিদ্যায় কাল পরম (absolute) তখন এই তথ্যই বোধ্য। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ অনুসারে ব্যাপারটা অন্যরকম। এ কথা সত্য যে একটি বিশেষ জড়ত্বীয়তন্ত্র সাপেক্ষ নির্বাচিত একটি ঘটনার সংগে যুগপৎ সংঘটিত ঘটনাগুচ্ছের যোগফলের অস্তিত্ব রয়েছে কিন্তু সে অস্তিত্ব আর জড়ত্বীয়তন্ত্র নির্বাচন নিরপেক্ষ নয়। চারমাত্রিক সাংতত্যক এখন আর বস্তুনিষ্ঠভাবে এমন একাধিক অংশে বিভাজ্য নয় যার প্রতিটি অংশই একাধিক যুগপৎ সংঘটিত ঘটনার আধার। স্থানিকভাবে সম্প্রসারিত বিশ্ব সাপেক্ষ "এখন" (now) শব্দ তার বস্তুনিষ্ঠ অর্থ হারায়। এই জন্য স্থান ও কালকে বস্তুনিষ্ঠভাবে অবিভাজ্য একটি চারমাত্রিক সাংতত্যকরূপে বিচার করতে হবে। যদি অবশ্য অপ্রয়োজনীয় প্রথাগত যাদৃচ্ছিকতা বাদ দিয়ে বস্তুনিষ্ঠ সম্পর্কগুলির অর্থপ্রকাশ করার ইচ্ছা থাকে।

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ সমস্ত জড়ত্বীয়তন্ত্রের তুল্যতা প্রকাশ করার ফলে প্রমাণিত হোল স্থিতিশীল ইথার সম্পর্কীয় প্রকল্পের সত্যতা আর মানা যায় না। সুতরাং নিম্নলিখিত ধারণা পরিত্যাগ করা প্রয়োজন হোল : বিদ্যুৎচুম্বকীয় ক্ষেত্রকে একটি বাস্তব বাহকের অবস্থাবিশেষরূপে বিচার করা। অতএব ভৌত বিবরণে ক্ষেত্র এমন একটি উপাদান হয়ে দাঁড়ায় যে উপাদান খর্ব করা অসম্ভব। অসম্ভব সেই অর্থে, যে অর্থে—নিউটনীয় তত্ত্বে পদার্থ সম্পর্কীয় ধারণা খর্ব করা অসম্ভব।

এ পর্যন্ত আমাদের মনোযোগের অভিমুখ ছিল বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ স্থান-কাল কল্পনে কি ধরণের পরিবর্তন এনেছে সে বিষয়ে অনুসন্ধানের দিকে। এবার আমাদের মনোযোগ কেন্দ্রীভূত করা যাক সেই সমস্ত উপাদানের দিকে যে উপাদান এ তত্ত্ব গ্রহণ করেছে চিরায়ত বলবিদ্যা থেকে। এখানেও প্রাকৃতিক বিধিগুলি সত্যতার দাবীদার তখনই যখন একটি জড়ত্বীয়তন্ত্রকে স্থানকাল বিবরণের ভিত্তিরূপে গ্রহণ করা হয়। জড়ত্বীয় নীতি এবং আলোকের গতিবেগের স্থিরত্ব সম্পর্কীয় নীতি শুধুমাত্র একটি জড়ত্বীয়তন্ত্র সাপেক্ষই সত্য। ক্ষেত্রীয় বিধিগুলিও শুধুমাত্র

জড়ত্বীয়তন্ত্র সাপেক্ষই অর্থ এবং সত্যতার অস্তিত্ব দাবী করতে পারে। সুতরাং ভৌত বাস্তবতার প্রতিরূপ সৃষ্টিতে, স্থান চিরায়ত বলবিদ্যার মত এখানেও একটি অন্যানিরপেক্ষ উপাদান। যদি আমরা কল্পনা করি পদার্থ এবং ক্ষেত্র অপসারিত তা হলে পিছনে পড়ে থাকে জড়ত্বীয় স্থান কিংবা আরো নির্ভুলভাবে বলা যায় পড়ে থাকে সহযোগী কাল এবং এই স্থান। এই চারমাত্রিক অবয়বকে (মিনকাউস্কি স্থান) পদার্থ এবং ক্ষেত্রের বাহক রূপে চিন্তা করা হয়। তাদের সহযোগী সময় এবং জড়ত্বীয় স্থানগুলি অগ্রাধিকার প্রাপ্ত চারমাত্রিক নির্দেশতন্ত্র মাত্র। রৈখিক লোরেঞ্জ রূপান্তরের সাহায্যে সেগুলি পরস্পরের সঙ্গে সংযুক্ত। যেহেতু এই চারমাত্রিক গঠনে এমন কোন অংশের আর অস্তিত্ব নেই যে অংশ বস্তুনিষ্ঠভাবে এখন (now) এর অনুরূপ সেইজন্য ঘটমান এবং ভূয়মান এই ধারণাগুলি যদিও সত্যই সম্পূর্ণ মুলতুবী নয় তবুও কিন্তু জটিল। সুতরাং মনে হয় ভৌত বাস্তবতাকে এ পর্যন্ত যে রকম ত্রিমাত্রিক অস্তিত্বের বিবর্তন (evolution) রূপে ভাবা হয়েছে সে রকম না ভেবে তাকে চারমাত্রিক অস্তিত্ব ভাবা বেশী স্বাভাবিক।

বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের এই অনমনীয় চারমাত্রিক স্থান অনেকটা এইচ. এ. লোরেঞ্জের অনমনীয় ত্রিমাত্রিক ইথারের চারমাত্রিক প্রতিরূপ (analogue)। এ তত্ত্ব সাপেক্ষও নিম্নলিখিত মন্তব্য সত্য: ভৌত অবস্থার বিবরণে এই দুটি স্বীকৃতি রয়েছে: স্থান প্রারম্ভে প্রদত্ত (initially given) এবং স্থানের অস্তিত্ব অন্য নিরপেক্ষ। সুতরাং এই তত্ত্বও অন্যানিরপেক্ষ স্থান কিম্বা অবরোহী যুক্তিসিদ্ধ (a priori) "শূন্যস্থানের" (empty space) অস্তিত্ব বিষয়ে দেকার্তের অসোয়াস্তি আসলে দূর করে না। এখানে যে প্রাথমিক আলোচনা করা হয়েছে তার আসল উদ্দেশ্য ব্যাপক অপেক্ষবাদ এই সমস্ত সন্দেহ কতটা দূর করে সেটা দেখানো।

ব্যাপক অপেক্ষবাদে স্থান সম্পর্কীয় কল্পন

জড়ত্বীয় ভর এবং মহাকর্ষীয় ভরের তুল্যতা বুঝবার চেষ্টা থেকেই প্রধানত এতত্ত্বের উদ্ভব। আমরা শুরু করি একটি জড়ত্বীয় ভর S_1 থেকে। ভৌত দৃষ্টিভঙ্গি থেকে তার স্থান শূন্যগর্ভ (empty)। অন্য কথায় স্থানের যে অংশ নিয়ে চিন্তা করা হচ্ছে সেখানে পদার্থও (সাধারণ অর্থে) নেই, ক্ষেত্রও (বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের অর্থে) নেই। S_1 সাপেক্ষ সমত্বরণ (uniformly accelerated) বিশিষ্ট একটি দ্বিতীয় নির্দেশতন্ত্র S_2 থাকুক। তা হলে S_2 আর জড়ত্বীয় তন্ত্র নয়। তা হলে S_2 সাপেক্ষ সমস্ত পরীক্ষার্থ ভরই ত্বরণে

চলমান হবে। সে ত্বরণ তার ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্ম নিরপেক্ষ। সুতরাং S_2 সাপেক্ষ এমন একটি অবস্থার অস্তিত্ব রয়েছে যে অবস্থাকে অন্তত প্রথম আসন্নতায় (first approximation) মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র থেকে পৃথক করা যায় না। তা হলে পর্যবেক্ষণযোগ্য ঘটনাগুলির সঙ্গে নিম্নলিখিত কল্পনের সঙ্গতি রয়েছে ; S_2-ও একটি "জড়ত্বীয় তন্ত্রের" তুল্য। কিন্তু S_2 সাপেক্ষ একটি সমসত্ব মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র বর্তমান (এ প্রসঙ্গে তার উৎপত্তি সম্পর্কে উৎকণ্ঠার কোন কারণ নেই)। যদি অনুমান করা হয়, "তুল্যতার নীতি" (principle of equivalenee) নির্দেশক-তন্ত্রগুলির যে কোন আপেক্ষিক গতি পর্যন্ত প্রসারিত করা সম্ভব তা হলে বিবেচনার কাঠামোতে (framework of the consideration) যখন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রকে অন্তর্ভুক্ত করা হয় জড়ত্বীয়তন্ত্র তখন তার বস্তুনিষ্ঠ গুরুত্ব হারায়। যদি কোন সামঞ্জস্যপূর্ণ তত্ত্ব এই মূলগত চিন্তাধারার ভিত্তিতে সৃষ্টি করা সম্ভব হয় তা হলে সে তত্ত্ব স্বতঃতই মহাকর্ষীয় ভর এবং জড়ত্বীয় ভরের সমতা সম্পর্কে সন্তুষ্টিলাভ (satisfy) করবে। পরীক্ষা এই সমতা সম্পর্কীয় তথ্যের সত্যতা সবলে প্রমাণ করে।

চারমাত্রিকরূপে বিচার করলে চারটি নির্দেশকের একটি অরৈখিক রূপান্তর ,S_1 থেকে S_2-তে রূপান্তরের অনুরূপ। এখন প্রশ্ন উপস্থিত হয় ; —কি ধরনের অরৈখিক রূপান্তর অনুমোদনীয় কিম্বা লোরেঞ্জ রূপান্তরের সাধারণীকরণ করা হবে কি ভাবে ? এ প্রশ্নের উত্তর দিতে হলে নিম্নলিখিত বিবেচনাগুলি নিষ্পত্তিমূলক (decisive)।

পূর্বতনতত্ত্বের জড়ত্বীয়তন্ত্রে আমরা এই ধর্ম আরোপ করি : নির্দেশকগুলির পার্থক্য মাপা হয় স্থির "অনমনীয়" (rigid) মাপকদণ্ডের সাহায্যে এবং কালের পার্থক্য মাপা হয় স্থিতিশীল ঘড়ির সাহায্যে। দ্বিতীয় একটি অনুমান প্রথম অনুমানের সম্পূরক। যথা : স্থিতিশীল মাপকদণ্ডগুলিকে সম্পর্কযুক্ত করে স্থাপন করা সম্পর্কে এবং সেগুলির সমন্বয়ের ব্যাপারে (laying out and fitting together) "দৈর্ঘ্য" সম্পর্কীয় ইউক্লিডীয় জ্যামিতির প্রতিপাদ্য সত্য। বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের ফল থেকে, প্রাথমিক বিবেচনার সাহায্যে তাহলে এই সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয় যে, জড়ত্বীয় তন্ত্র (S_1) সাপেক্ষ আপেক্ষিকভাবে ত্বরিত একাধিক নির্দেশতন্ত্র (S_2) বিষয়ে নির্দেশকগুলির এই প্রত্যক্ষ ভৌত ব্যাখ্যা অর্থহীন (is lost)। এই যদি ঘটনা হয় তা হলে নির্দেশকগুলি এখন শুধুমাত্র "সামীপ্যের" (contiguity) ক্রম (order) বা বিন্যাস (rank) প্রকাশ করে সুতরাং স্থানের মাত্রীয় পর্যায়ও (dimensional grade) প্রকাশ করে। কিন্তু তার মাত্রামূলক ধর্মের (metrical properties) কোনটিই প্রকাশ করে না। এইভাবে আমাদের প্রতি নির্দেশ

আসে : রূপান্তরগুলিকে যাদৃচ্ছিক অবিচ্ছিন্ন রূপান্তর অবধি বিস্তৃত করার।[1] এর ইঙ্গিত ব্যাপক অপেক্ষবাদের নীতির অভিমুখে। নির্দেশকগুলির যাদৃচ্ছিক অবিচ্ছিন্ন রূপান্তর সাপেক্ষ প্রাকৃতিক বিধিগুলির অবশ্যই সহপরিবর্তী (co-variant) হতে হবে। এই প্রয়োজন (বিধিগুলির সম্ভাব্য অধিকতম যৌক্তিক সারল্যের সহযোগে) বিশিষ্ট অপেক্ষবাদের নীতির তুলনায় বিধিগুলিকে তুলনাহীন অধিকতর কঠোরভাবে সীমিত করে।

এই চিন্তাধারার ভিত্তি মূলত ক্ষেত্র অর্থাৎ অন্যানিরপেক্ষ কল্পনরূপে ক্ষেত্র। কারণ যে ভরগুলি থেকে উৎপন্ন তার অস্তিত্ব সম্পর্কে কোন প্রশ্ন না তুলেই S_2 সাপেক্ষ, বিদ্যমান অবস্থাগুলিকে একটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্ররূপে ব্যাখ্যা করা হয়। এই চিন্তাধারা থেকে বুঝতে পারা যায়, সাধারণ চরিত্রের ক্ষেত্রগুলির বিধির তুলনায় (উদাহরণ : যখন একটি বিদ্যুৎচুম্বকীয় ক্ষেত্র উপস্থিত) শুদ্ধ মহাকর্ষীয় ক্ষেত্র বিষয়ক বিধিগুলি কেন ব্যাপক অপেক্ষবাদের চিন্তাধারার সঙ্গে আরো প্রত্যক্ষভাবে সংযুক্ত। যেমন, আমাদের এ অনুমান যথেষ্ট যুক্তিপূর্ণ যে : "ক্ষেত্রমুক্ত" মিনকাউস্কি-স্থান প্রাকৃতিক বিধির সম্ভাব্যএকটি বিশেষ অবস্থার (special case) প্রতিরূপ—আসলে প্রতিরূপ একটি ধারণাযোগ্য সরলতম বিশেষ অবস্থার। মাত্রামূলক চরিত্র (metrical characters) সাপেক্ষ এ রকম স্থানের বৈশিষ্ট্য প্রকাশ পায়, এই তথ্যে— $dx_{12}+dx_{22}+dx_{32}$ হোল স্থানিক বিচ্ছেদের বর্গ (square of the spatial separation)। একটি ত্রিমাত্রিক "স্থানসম (space like)" প্রস্থচ্ছেদের (cross section) ক্ষুদ্রাদপি ক্ষুদ্র দূরত্ব সম্পন্ন সন্নিকট দুটি বিন্দুর দূরত্বকে এককরূপে গ্রহণ করে এর মাপনক্রিয়া (পিথাগোরাসের উপপাদ্য)। তবে dx_4 হোল কালবিচ্ছেদ (temporal separation)। সেটা মাপা হয় সাধারণ (x_1,x_2,x_3) বিশিষ্ট দুটি ঘটনাকে উপযুক্ত সময় মাপক দিয়ে মেপে সেই মাপনফলকে এককরূপে গ্রহণ করে। এ সবের সরল অর্থ এই যে : নিম্নলিখিত রাশিতে একটি বস্তুনিষ্ঠ মাত্রামূলক অর্থ আরোপ করা হয় (metrical significance is attached) :

$$ds^2=dx_1{}^2+dx_2{}^2+dx_3{}^2-dx_4{}^2 \ldots\ldots(1)$$

লোরেঞ্জ রূপান্তরের সাহায্যে এটা সহজেই দেখানো যায়। গাণিতিকভাবে এই তথ্য

---

(1) এই অনিভূর্ল প্রকাশভঙ্গি হয়তো এখানে যথেষ্ট হবে।

লোরেঞ্জ রূপান্তর সাপেক্ষ ds^2 নিশ্চর :—এই তথ্যের অনুরূপ।

এখন যদি অপেক্ষবাদের সাধারণ নীতির অর্থে এই স্থানকে (সমীকরণ-(1) দেখুন।) নির্দেশকগুলির যাদৃচ্ছিক অবিচ্ছিন্ন রূপান্তরে বাধ্য করা হয়, তা হলে বস্তুনিষ্ঠভাবে গুরুত্বপূর্ণ পরিমাণ ds নূতন নির্দেশকতন্ত্রে নিম্নলিখিত সম্পর্ক দিয়ে অভিব্যক্ত হয় :

$$ds^2 = g_{ik}dx_i dx_k \cdots\cdots(1a)$$

এগুলি 11, 12,..... 44 পর্যন্ত সমস্ত সমন্বয় (combination) সাপেক্ষ i এবং k-এর ঘাতাঙ্কের (indices) উপর যোগ দিতে হবে। g_{ik} পদগুলি এখন আর অচর নয়, তারা নির্দেশকগুলির অপেক্ষক। সেগুলি নির্ধারিত হয় যাদৃচ্ছিকরূপে নির্বাচিত রূপান্তরের দ্বারা। তবুও কিন্তু g_{ik} পদগুলি নূতন নির্দেশকগুলির যাদৃচ্ছিক অপেক্ষক নয় ; তারা শুধু এমন ধরনের অপেক্ষক যে চারটি নির্দেশকের অবিচ্ছিন্ন রূপান্তরের সাহায্যে অবয়ব (1a)-কে অবয়ব (1)-এতে ফিরিয়ে নিয়ে আসা যায়। এটা সম্ভব করার জন্য অপেক্ষক g_{ik}-এর অবস্থার কয়েকটি সাধারণ সহপরিবর্তী (co-variant) সমীকরণের সর্ত পূরণ (satisfy) করতে হবে। ব্যাপক অপেক্ষবাদ গঠিত হবার অর্ধশতাব্দীরও বেশী আগে বি. রীম্যান (B. Riemann) এগুলি আহরণ (derived) করেছিলেন (Riemann condition রীম্যান সর্ত)। তুল্যতার নীতি অনুসারে, g_{ik} অপেক্ষকগুলি রীম্যান সর্ত পালন করলে, (1a) সাধারণ সহপরিবর্তীর অবয়বে একটি বিশেষ ধরনের মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের বিবরণ দান করে।

এর ফলশ্রুতি : রীম্যান সর্ত পূর্ণ হলে সাধারণ চরিত্রের শুদ্ধ মহাকর্ষীয় বিধি অবশ্যই পালিত হবে (must bs satisfied) কিন্তু রীম্যান সর্তগুলির তুলনায় এ বিধি অবশ্যই হবে দুর্বলতর এবং স্বল্প সীমাবদ্ধকারী (less restricting)। এইভাবে শুদ্ধ মহাকর্ষের ক্ষেত্রবিধি কার্যত সম্পূর্ণ নির্ধারিত। এ ফলের আরও বিস্তৃত বিবরণ এ ক্ষেত্রে যুক্তিযুক্ত নয়।

ব্যাপক অপেক্ষবাদে রূপান্তর কিভাবে স্থান সম্পর্কীয় ধারণার পরিবর্তন করে আমরা এখন সে তথ্য বুঝবার মত অবস্থায় এসেছি। চিরায়ত বলবিদ্যা এবং বিশিষ্ট অপেক্ষবাদ অনুসারে স্থানের (স্থানকাল), পদার্থ কিংবা ক্ষেত্রনিরপেক্ষ অস্তিত্ব রয়েছে। স্থানকে যা পূরণ করে কিম্বা যা নির্দেশকের উপর নির্ভরশীল

সেগুলির বিবরণ দান করার ক্ষমতা পেতে হলে স্থান-কাল কিম্বা মাত্রামূলক ধর্মসহ জড়ত্বীয়তন্ত্রের তাৎক্ষণিক অস্তিত্ব অবশ্যই মানতে হবে। তাছাড়া স্থানকে যা পূরণ করে তার বিবরণ হবে অর্থহীন।[1] অন্য দিকে ব্যাপক অপেক্ষবাদের ভিত্তিতে "স্থানকে যা পূর্ণ করে" নির্দেশকগুলির উপর যা নির্ভরশীল হবে তার বৈপরীত্যে (as opposed to) স্থানের কোন স্বতন্ত্র অস্তিত্ব নেই। সুতরাং, শুদ্ধ মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের বিবরণ দেয়া যেত, মহাকর্ষীয় সমীকরণ সমাধানের সাহায্যে g_{ik}-এর (নির্দেশকগুলির অপেক্ষকরূপে) বাগ্বিধিতেও। আমরা যদি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রকে অর্থাৎ g_{ik} অপেক্ষকগুলিকে অপসারিত কল্পনা করি তা হলে (1) ধরনের স্থান অবশিষ্ট থাকে না, থাকে পরমশূন্য (absolute nothing) এবং "স্থান বিজ্ঞান মূলক স্থানও" (topological space) থাকে না। কারণ g_{ik} অপেক্ষকগুলি শুধুমাত্র ক্ষেত্রেরই বিবরণ দেয় তাই নয় তারা একই সঙ্গে দেয় কাঠামোটার স্থান বিজ্ঞান-ভিত্তিক ধর্ম এবং মাত্রামূলক গাঠনিক ধর্মে'র (metrical structural properties) বিবরণও। ব্যাপক অপেক্ষবাদের দৃষ্টিভঙ্গি থেকে বিচার করলে (1) ধরনের স্থান, ক্ষেত্ররহিত স্থান নয় বরং g_{ik} ক্ষেত্রের একটি বিশেষ অবস্থা। তার জন্য ব্যবহৃত নির্দেশকতন্ত্রের স্বতঃত কোন বস্তুনিষ্ঠ গুরুত্ব নেই। g_{ik} অপেক্ষকগুলির মূল্যাঙ্ক নির্দেশকগুলির উপর নির্ভরশীল নয়। শূন্য স্থান অর্থাৎ ক্ষেত্রছাড়া কোন স্থান নেই। স্থানকালের স্বতঃত কোন অস্তিত্বের দাবী নেই। তারা শুধু ক্ষেত্রের গঠন ধর্ম (structural quality)।

সুতরাং দেকার্তে যখন বিশ্বাস করেছিলেন শূন্যস্থানের অস্তিত্ব তাকে অবশ্যই অস্বীকার করতে হবে তখন তিনি সত্য থেকে খুব বেশী দূরবর্তী হন নি। যতক্ষণ পর্যন্ত ভৌত বাস্তবতা শুধুমাত্র ওজনযোগ্য বস্তুগুলিতেই দৃষ্ট হয়; ততক্ষণ মনে হয় এ দৃষ্টিভঙ্গি অবাস্তব। দেকার্তের চিন্তাধারার সত্যকার মর্ম: "ক্ষেত্রবর্জিত" কোন স্থানের অস্তিত্ব নেই। এ মর্ম বুঝতে হলে প্রয়োজন: ব্যাপক আপেক্ষিক নীতি সম্পর্কে ধারণা এবং ক্ষেত্র বাস্তবের প্রতিনিধি এই চিন্তন।

---

(1) স্থানকে যা পূরণ করে (যেমন ক্ষেত্র) সেটা অপসারিত বলে যদি আমরা বিচার করি তা হলে, (1) অনুসারে মাত্রামূলক স্থান (metric spaee) অবশিষ্ট থাকে এবং সেখানে একটি পরীক্ষার্থ বস্তুপিণ্ড উপস্থাপন করলে সে স্থান তার জড়ত্বীয় আচরণও নির্ধারণ করবে।

সাধারণীকৃত মহাকর্ষীয়তত্ত্ব

সুতরাং ব্যাপক অপেক্ষবাদের ভিত্তিতে শুদ্ধ মহাকর্ষীয় তত্ত্ব সরাসরি পাওয়া যায় (readily obtainable)। কারণ, (1) এর সঙ্গে সংগতিপূর্ণ মাত্রাযুক্ত (with its metric) "ক্ষেত্রমুক্ত" মিনকাউস্কি স্থানকে ক্ষেত্রের সাধারণ বিধিগুলিকে পরিতুষ্ট করতেই হবে : এবিষয়ে আমরা পূর্ণ আস্থা রাখতে পারি। এই বিশেষ ক্ষেত্র (special case) থেকে একটি সাধারণীকরণের সাহায্যে মাহকর্ষীয় বিধি আহরণ করা যায়। এ সাধারণীকরণ কার্যত যাদৃচ্ছিকতামুক্ত। এ তত্ত্বের অধিকতর বিকাশে ব্যাপক অপেক্ষবাদের নীতির দ্বারা নির্ধারণ ততটা মতভেদমুক্ত নয় (not so uneqivocally determined)। গত কয়েক দশকে নানা অভিমুখে এ প্রচেষ্টা হয়েছে। ভৌতবাস্তবতাকে ক্ষেত্ররূপে কল্পন সাধারণত এই সমস্ত প্রচেষ্টায় রয়েছে। তা ছাড়া এ কল্পন মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের সাধারণীকরণ এবং এ স্থলে ক্ষেত্রীয় বিধি শুদ্ধমহাকর্ষীয় ক্ষেত্রবিধির একটি সাধারণীকরণ। আমার বিশ্বাস দীর্ঘ অনুসন্ধানের পর এবার আমি এই সাধারণীকরণের সব চাইতে স্বাভাবিক অবয়ব খুঁজে[1] পেয়েছি। কিন্তু এই সাধারণ বিধি অভিজ্ঞতা লব্ধ তথ্যের ভিত্তিতে গ্রাহ্য হতে পারে কিনা সে বিষয়ে অনুসন্ধান এখনো আমার শেষ হয়নি।

প্রাগুক্ত সাধারণ বিচার বিষয়ে বিশেষ ক্ষেত্রবিধির (particular field law) প্রশ্ন অপ্রধান। বর্তমানে প্রধান প্রশ্ন হোল এখানে যে ধরনের ক্ষেত্রতত্ত্বের কথা চিন্তা করা হয়েছে সে তত্ত্ব লক্ষ্যের পথিকৃৎ আদৌ হতে পারে কিনা। একথার অর্থ এমন একটি তত্ত্ব যে তত্ত্ব একটি ক্ষেত্রের সাহায্যে নিঃশেষে ভৌত বাস্তবতার বিবরণ দিতে পারে। চারমাত্রিক স্থান ও সে বাস্তবতার অন্তর্ভুক্ত থাকবে। এ প্রশ্নের উত্তরে বর্তমান পর্যায়ের (present generation) পদার্থবিদের নেতিবাচক উত্তর-দানের প্রবণতা রয়েছে। কোয়ান্টাম তত্ত্বের আধুনিক অবয়বের সঙ্গে সংগতি রক্ষা করে তাঁরা বিশ্বাস করেন : তন্ত্রের অবস্থা (state of the system) প্রত্যক্ষভাবে

---

(1) সাধারণীকরণটির বৈশিষ্ট্য প্রকাশ করা যায় নিম্নলিখিতরূপে : শূন্য "মিনকাউস্কির স্থান" থেকে এর আহরণ। সেই অনুসারে অপেক্ষক g_{ik}-এর শুদ্ধ মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রের প্রতিসাম্য (symmetry) ধর্ম রয়েছে। সে ধর্ম পাওয়া যায় $g_{ik}=g_{ki}$ ($g_{12}=g_{21}$, প্রভৃতি) থেকে। সাধারণীকৃত ক্ষেত্রটি একই ধরণের কিন্তু এই প্রতিসাম্য ধর্ম তার নেই। ক্ষেত্রবিধি আহরণের সঙ্গে শুদ্ধ মহাকর্ষের বিশেষ ক্ষেত্রের (special case) পূর্ণ সাদৃশ্য রয়েছে।

নির্দিষ্ট করা যায় না। নির্দিষ্ট করা যায় পরোক্ষভাবে: তন্ত্রে প্রাপ্তিযোগ্য মাপনফলের পরিসংখ্যান সম্পর্কীয় বিবৃতির সাহায্যে। এখন এই বিশ্বাসেরই প্রাধান্য যে: প্রকৃতির দ্বৈত চরিত্র (কণিকারূপ গঠন এবং তরঙ্গরূপ গঠন) সম্পর্কে বোধ (realised) হতে পারে শুধুমাত্র এইভাবে বাস্তবতা সম্পর্কীয় কল্পনকে দুর্বলতর করে। আমার মনে হয় আমাদের বর্তমান প্রকৃত জ্ঞানের পরিপ্রেক্ষিতে এ রকম দূরগামীতাত্ত্বিক আত্মত্যাগ (far reaching theoretical renunciation) যুক্তিসহ নয় এবং আপেক্ষিক ক্ষেত্রতত্ত্বের পথ শেষ পর্যন্ত অনুসরণ করা থেকে বিরত হওয়া অনুচিত।

গ্রন্থপঞ্জী

BIOGRAPHICAL

Out of My Later Years : Albert Einstein. (Constable, 1950).

Einstein—His Life and Times : Philipp Frank. (Cape, 1948).

INTRODUCTORY OR GENERAL

The Special Theory of Relativity : H. Dingle. (Methuen, 1940).

The Expanding Universe : A. Eddington. (Cambridge, 1933).

Space, Time and Gravitation : A. Eddington. (Cambridge, 1923).

The Meaning of Relativity : A. Einstein. (Fifth revised edition ; Methuen, 1951).

Evolution of Physics : A. Einstein and L. Infeld. (Cambridge, 1947).

Relativity Physics : W, H. McCrea. (Methuen, 1947).

Albert Einstein : Philosopher–Scientist. (The Library of Living Philosophers, Vol. VII.) Edited by P. A. Schilpp. (Cambridge 1950).

Space-Time Structure : E. Schrodinger. (Cambridge, 1950).

The Structure of the Universe : G. J. Whitrow. (Hutchinson's University Library, No. 29, 1949).

MATHEMATICAL

Introduction to the Theory of Relativity : P. G. Bergmann. (Prentice-Hall, 1942).

The Mathematical Theory of Relativity : A. Eddington. (Cambridge, 1924).

Relativity, Gravitation and World Structure : E. A. Milne. (Oxford, 1935).

Kinematic Relativity : E. A. Milne. (Oxford, 1948).

The Theory of Relativity : C. Moller. (Oxford 1952).

Relativitatstheorie : W. Pauli, Jr. (Sonderabdruck aus der Enzyklopadie der mathematischen Wissenschaften, V (2), 543-773). (Teubner Leipzig, 1921].

Relativity, Thermodynamics and Cosmology : R. C. Tolman. [Oxford, 1934].

Space, Time and Matter : H. Weyl. [Methuen, 1922].

গ্রন্থ নির্বাচনের পরামর্শ দেবার জন্য আমি আমার ভূতপূর্ব সহকর্মী ডাঃ বি. ডোনোভান (Dr. B. Donovan) [নর্দান পলিটেকনিক, লন্ডন] এবং অধ্যাপক এ. জি, ওয়াকার (Professor A. G. Walker) [লিভারপুল বিশ্ববিদ্যালয়]—এ'দের কাছে ঋণী।

আর. ডব্লিউ. এল.

বর্ণানুক্রমিক সূচী

বাউলমন প্রকাশনের বই

বাংলা তথা ভারতীয় ভাষায় এই প্রথম
মহাবিজ্ঞানী আইনস্টাইন ও ইনফেল্ডের রচিত

পদার্থবিদ্যার বিবর্তন

৪০ টাকা

অনুবাদক : শত্রুজিৎ দাশগুপ্ত

কেম্ব্রিজ ইউনিভারসিটি প্রেসের (মাস্টার, স্কলার ও চ্যানসেলারের পক্ষে) অনুমতিক্রমে অনূদিত এবং তাঁদের অনুমোদনে প্রকাশিত।

আচার্য ইনফেল্ডের ভূমিকাসহ প্রাচীন চিন্তাধারা থেকে অপেক্ষাবাদ এবং কোয়ান্টা চিন্তাধারার উত্তরণের কাহিনী যা একাধারে বিজ্ঞানের দর্শন ও বিজ্ঞানের ইতিহাস। বইটি যে কোন বিজ্ঞানপ্রেমীর আজীবন সঙ্গী।

বইটি সম্বন্ধে জগৎ বিখ্যাত বিভিন্ন বিজ্ঞান সমালোচকদের মন্তব্য :—

স'ত্যাই উল্লেখ করার মতো বই লিখেছেন লেখকরা। বইটা প্রামান্য, মানবিক এবং সরসও বটে। বিষয়বস্তুর সীমানা বিচার করলে লেখাটি সুখপাঠ্য। পদার্থ-বিদ্যার মূল চিন্তাধারা যাঁরা বুঝতে চান তাঁদের পক্ষে এর চাইতে ভাল বই খুঁজে পাওয়া দুষ্কর। পেশাদার বৈজ্ঞানিক আবদ্ধ থাকেন তাঁর নিজস্ব বিষয়ের ছোট্ট কোণে। এ বই তাঁদের সুযোগ দেবে এক পাশে দাঁড়িয়ে বিজ্ঞানের পূর্ণ অবয়বের দিকে দৃষ্টিপাত করার।

জে. এ. ক্রোথার-এর অবসারভার পত্রিকার সমালোচনার অংশ বিশেষ।

দুঃসাহসিক বৈজ্ঞানিক অভিযানের উত্তেজনা সুন্দরভাবে উপস্থিত করা হয়েছে।

—দি টাইমস্

বিশ্বপ্রকৃতি সম্পর্কে অধিযান্ত্রিক দৃষ্টিভঙ্গি (Mechanical View) ধাপে ধাপে ক্ষেত্র, অপেক্ষাবাদ ও কোয়ান্টার চিন্তাধারায় উত্তরণের সুস্পষ্ট এবং অপেশাদারী বিবরণ হিসেবে এর চাইতে ভাল বই প্রায় অসম্ভব।

—গার্ডিয়ান।

সারল্যই মহত্ত্বের মানদণ্ড। এ বইয়েরও প্রধান বৈশিষ্ট্য সারল্য।—কেম্ব্রিজ রিভিউ

গ্যালিলিও থেকে শুরু করে ভৌত চিন্তাধারার নিপুণ প্রকাশ। গণিত ছাড়া আধুনিক পদার্থবিদ্যার প্রধান প্রধান ধাপের স্পষ্ট এবং সুগভীর বিবরণ দেওয়া অসাধারণ কৃতিত্বপূর্ণ সৃষ্টিকর্ম। এ কর্ম শুধু তাঁদের পক্ষেই সম্ভব যাঁদের বিষয়বস্তু পূর্ণ আয়ত্তে রয়েছে—আয়ত্তে রয়েছে গণিতশাস্ত্রও। মানবিক চিন্তাধারায় বিরাট নাটকীয় কাহিনীর বোধ এবং উপভোগের বিস্তারে আইনস্টাইন ও ইনফেল্ডের বই প্রভৃত সাহায্য করবে।—ই. টি. বেল—সাটারডে রিভিউ অব লিটারেচার।

গণস্বাস্থ্য সংকলন (প্রথম পর্ব) ১২ টাকা

"শিশুখাদ্য নিয়ে ষড়যন্ত্র এখনও চলছে।" "কয়েকটি সাধারণ দন্ত রোগ।" "ধূমপান ও গলা।" "কীটনাশক ওষুধে মানুষ মরছে।" "মহিলার পুরুষে রূপান্তর : আসামী ওষুধ কোম্পানী।"—এ রকম শিরোনামায় ষোলটি প্রবন্ধের সংকলন। প্রবন্ধগুলি প্রকাশিত হয়েছিল বাংলাদেশ থেকে প্রকাশিত 'মাসিক গণস্বাস্থ্য' পত্রিকায়। নানা ধরনের টনিক, ভিটামিন, বহু শিশুখাদ্য এবং বহু ওষুধ আপনি আপনার নিজের প্রয়োজনে কিনেছেন না, কিনেছেন বহুজাতিক কোম্পানীগুলোর পকেট ভরতে। এ বিষয়ে আপনার সচেতন হবার সময় এসেছে। আমরা মনে করি প্রবন্ধগুলি আপনাকে এ ব্যাপারে খুবই সাহায্য করবে।

সত্যবদ্যির রোজনামচা (৪র্থ সংস্করণ) ১৪ টাকা

রোগের এবং রুগীর সামাজিক পরিবেশ নিয়ে গল্পের সংকলন। চতুর্থ মুদ্রণ প্রকাশিত হলো। ত্রিশ বছর আগে যে বই আলোড়ন সৃষ্টি করেছিল সে বই আজও একই রকম প্রাসঙ্গিক। এর কাহিনীর আবেদন সমগ্র মানব সমাজের মনে আর মস্তিষ্কের কাছে। চতুর্থ মুদ্রণে সত্যবদ্যি নতুন ভূমিকা লিখেছেন। এদুটো ভূমিকা পাশাপাশি পড়লে চিকিৎসা জগতের বিবর্তন সম্পর্কে সুষ্ঠ ধারণা সৃষ্টিতে সাহায্য করবে।

মানবদেহ সম্পর্কে, রোগ ব্যাধি সম্পর্কে, সামাজিক পরিবেশ সম্পর্কে যদি জানতে চান—আর যদি নীরস প্রবন্ধ না হয়ে সে জ্ঞান লাভের মাধ্যম সরস কাহিনী হোক—এ আপনার আকাংখা হয় তা হলে 'সত্যবদ্যির রোজনামচা' আপনাকে পড়তেই হবে।

মা নিষাদ ১৫ টাকা

সত্যবদ্যি

রামায়ণ ভিত্তিক নাটক। শম্বুকের হত্যাকাণ্ড, সীতার বনবাস, রাজকার্য এবং পারিবারিক দায়িত্ব নিয়ে রামের—দ্বন্দ্ব সম্পর্কে নতুন আলোকপাত করেছেন সত্যবদ্যি। দীর্ঘ ভূমিকা এবং নাটক ভারতের শ্রেষ্ঠ কাব্য সম্পর্কে আপনার পরিচিতির প্রধান মাধ্যম। এ বইয়ের সঙ্গে পরিচয় না থাকলে আপনার ভারতীয় সাহিত্য পাঠ অসম্পূর্ণ থাকবে।

বাতুল দ্বাদশিকা ২০ টাকা

সত্যবদ্যি

বাতুল দ্বাদশিকা বারোটি গল্পের সংকলন। প্রতিটি কাহিনী এক কিংবা একাধিক মানসিক রোগীকে কেন্দ্র করে—তবে রসিক সত্যবদ্যির সাহিত্য রসে জারিত। এর ভেতরে দশটি সত্যবদ্যির মৌলিক রচনা। বাকি দুটি এইচ্, জি, ওয়েলেস ও লু সুনের। এইচ, জি, ওয়েলেসের মূল লেখার নাম—'The Crocet Player'—অনুবাদের নাম সুতবদ্যি দিয়েছেন—'ভাই মারার জলা'। লু সুনের গল্পের ইংরাজী অনুবাদ থেকে বাংলা অনুবাদ করা হয়েছে। ইংরেজীর নাম 'উন্মাদের দিনপঞ্জী'। বদ্যি সে নামই বজায় রেখেছেন।

যন্ত্র ও কারিগরিবিদ্যাকেন্দ্রিক আধুনিক বিজ্ঞানে মানুষ এবং মানবিক পরিবেশের অবমূল্যায়ন করা হয়েছে। মানসিক চিকিৎসা-বিজ্ঞানের বিভিন্ন বইয়ে পরিবেশকে অস্বীকার না করেও যান্ত্রিকভাবে রোগ বিচারই প্রাধান্য পেয়েছে। সত্যবদ্যি এই গল্পগুলিতে প্রধানত মানবিক পরিবেশ নিয়েই বিশেষ আলোচনা করেছেন এবং সর্বক্ষেত্রেই মানুষের চেতনার স্থান সবচাইতে উঁচুতে তুলে ধরেছেন।

বাইরের দীর্ঘ ভূমিকায় মনের সংজ্ঞা নির্দেশ দিয়ে লেখক শুরু করেছেন এবং ক্রমশ প্রধান প্রধান মানসিক রোগের সঙ্গে পাঠককে পরিচিত করবার চেষ্টা করেছেন। মানব মনের সংজ্ঞা নির্দেশ, উৎকণ্ঠার রূপ বিচার ইত্যাদি বহুক্ষেত্রে লেখকের নিজস্ব চিন্তাধারার প্রকাশ রয়েছে। অন্য কোন ভাষায় এই ধরনের ভূমিকা কিংবা গল্প আছে বলে প্রকাশকের জানা নেই।

রাঙা মাটির কড়চা ১৫ টাকা

সতুবদ্যি

ক্ষুধা নিয়ে কয়েকটি গল্প। দশটি লেখকের, দুটি আর্মানি গল্পের অনুবাদ। পৃথিবীর প্রাচীনতম সমস্যা নিয়ে নানা দিক থেকে গল্পগুলি লেখা। ভূমিকাতে লেখক বলছেন, ক্ষুধার তিনটি শ্রেণীবিভাগ—খাদ্যের ক্ষুধা, জীবনের ক্ষুধা আর চেতনার ক্ষুধা। গল্পের ভিতর দিয়ে ক্ষুধার তিনটি রূপই আলোচনা করা হয়েছে। অনুবাদ দুটি বাংলা অনুবাদ সাহিত্যে গুরুত্বপূর্ণ সংযোজন। সতুবদ্যির ভূমিকা অনেকেরই দৃষ্টিভঙ্গি প্রভাবিত করবে।

সতুবদ্যির উপাখ্যান ১৫ টাকা

বইটি লেখকের প্রথম দিককার রচনা। পঞ্চাশের মন্বন্তরের স্মৃতি তখনও টাটকা। ঐ ধরনের মন্বন্তর তারপর আর আমাদের দেশে আসেনি। কিন্তু দুর্ভিক্ষ আজও আমাদের দেশে রয়েছে। দুর্ভিক্ষ রয়েছে বিদেশে এবং সারা পৃথিবীতে। দুর্ভিক্ষের রঙ বদলেছে কিন্তু জাত বদলায়নি। মানুষ এই দুর্ভিক্ষের ভিতরেই লড়াই করে চলেছে মানুষ্যত্বের সপক্ষে—ক্ষুধা আর মহামারীর বিপক্ষে। 'সতুবদ্যির উপাখ্যান' মানুষের সেই যুদ্ধেরই জয়গান।

নেশা ৩ টাকা

সতুবদ্যি

কেন মানুষ নেশা করে? এতে কার লাভ? নেশার বিরুদ্ধে সংগ্রামই কি বিকৃত চেতনার বিরুদ্ধে সংগ্রাম? নেশা নিয়ে প্রশ্ন উত্তরে আলোচনা করেছেন লেখক।

মদ ৪ টাকা

সতুবদ্যি

মদ্যপান আজ একটা বিরাট সমস্যা। এর বিরুদ্ধে সংগ্রাম না হলে সমাজ এক মহাবিপদের সম্মুখীন হবে। মদ্যপানের বিকৃতি নিয়ে প্রশ্ন উত্তরের আকারে আলোচনা করেছেন লেখক।

অন্য কলকাতা ১৫ টাকা

রাঘব বন্দ্যোপাধ্যায়

এ কলকাতায় হিউজেস রোডের কসাইখানায় দুর্গন্ধ, রক্ত, শুয়োরের চিৎকার—এ সবের মধ্যে ৯—১৫ বছরের শিশুরা রাত কাটায়—রাত কাটায় শুয়োর জবাই করে। এ কলকাতা জমাট অন্ধকার ছেঁড়া পুঁটলি ও চটের এক কলকাতা—বস্তির কলকাতা—ফুটপাতের কলকাতা—ছাঁটাই, লে-অফ্, লক আউট অনাহার অপুষ্টির কলকাতা। এখানে শিশুর রুটি লুকোনো থাকে শহরের আবর্জনায় আর হারকাটা লেনের হাজার কয়েক মেয়ের অন্ধকার, ক্লান্ত বিষণ্ণ জীবনের দীর্ঘশ্বাস—যে জীবন তারা চায়নি, কিন্তু নির্দয় দারিদ্রই তাদের ঠেলে দিয়েছে এ জীবনে।

আধুনিক ধাপ্পা : পারমাণবিক শক্তি ১২ টাকা

(জন বিজ্ঞান সংকলন-২)

প্রদীপ দত্ত

"বর্তমানের লোডশেডিংয়ের যোগ্য জবাব পারমাণবিক বিদ্যুৎ।"—এটা একটা ডাহা মিথ্যা। এটা যে পারমাণবিক চুল্লির বিক্রেতাদের অপপ্রচার এবং পৃথিবীর লক্ষ লক্ষ মানুষ যে এই পারমাণবিক বিদ্যুৎ চুল্লির তেজস্ক্রিয়তার বলি—তা নিয়ে অসংখ্য ঘটনা এবং নথীপত্র সংগ্রহ করে নির্ভরযোগ্য আলোচনা করেছেন লেখক। বাংলাভাষায় এ বিষয়ে এটিই প্রথম এবং প্রামাণ্য বই।

প্রেসক্রিপশন ১২ টাকা

অধ্যাপক নুরুল ইসলাম

আধি-ব্যাধির বলিষ্ঠতর মোকাবিলার জন্য মনকে তৈরী করার ক্ষেত্রে **'প্রেসক্রিপশন'** বইটি অতুলনীয়। মানুষের জীবন, স্বাস্থ্য, সুখ নিয়ে যে জঘন্য পাপ-ব্যবসা চলছে তার হুবহু চিত্র তুলে ধরা, অপ্রয়োজনীয় ওষুধ সম্পর্কে সর্বপ্রথম দেশের চিকিৎসক সমাজকে সচেতন এবং দায়িত্বশীল করে তুলতে সাহসী অধ্যাপক নুরুল ইসলামের সৎ চেষ্টার তুলনা নেই।



পদার্থবিদ্যা এবং দর্শনশাস্ত্র সমগ্র
মানব জ্ঞানের জননী। 'অপেক্ষবাদ'
গ্যালিলিও-নিউটনের পদার্থবিদ্যার
ঊর্মিল সরোবরকে স্রোতস্বিনী
প্রবাহিণীতে পরিণত করেছে।
বিজ্ঞানের যে কোন বিভাগের কর্মী,
যে কোন শিল্পী, যে কোন সাহিত্যিক,
যে কোন দার্শনিক—এক কথায়
যে কোন সৃষ্টিশীল বুদ্ধিজীবীর 'অপেক্ষবাদ'-এর
সঙ্গে পরিচয় না থাকলে তার শিক্ষা
অসম্পূর্ণ থেকে যাবে।
এ বইতে আইনস্টাইন নিজে অপেক্ষবাদকে
সরলভাবে ব্যাখ্যা করেছেন। পাঠকের শিক্ষার
মান তিনি ধরে নিয়েছেন বিশ্ববিদ্যালয়ের
ম্যাট্রিক পর্যন্ত। অর্থাৎ গণিতশাস্ত্রকে তিনি
যতটা সম্ভব কম ব্যবহার করেছেন।
শক্রজিৎ দাশগুপ্তের বঙ্গানুবাদ সহজ, সরল
এবং আক্ষরিক। বাংলা বিজ্ঞান সাহিত্যে
এ অনুবাদ দৃঢ় ও দূরগামী পদক্ষেপ।